

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Rozhledna z materiálů na bázi dřeva

Lookout tower made of wooden-based materials

Student:

Vojtěch Klimeš

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra konstrukcí

Zadání bakalářské práce

Student:

Vojtěch Klimeš

Studijní program:

B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor:

3607R037 Konstrukce staveb

Téma:

Rozhledna z materiálů na bázi dřeva
Lookout tower made of wooden-based materials

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce vypracujte:

1. Historický vývoj a typy rozhleden.
2. Variantní řešení turistické rozhledny z materiálů na bázi dřeva.
3. Dispoziční a architektonické řešení zvolené varianty rozhledny (část projektové dokumentace pro stavební řízení).
4. Statický výpočet rozhodujících nosných prvků a ztužení konstrukce.
5. Návrh a posouzení vybraných spojů nosných prvků.

Seznam doporučené odborné literatury:

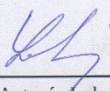
- 1) ČSN EN 1995-1-1: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- 2) Blass, H. J. a kol.: Dřevěné konstrukce podle EUROKÓDU 5. STEP 1. Navrhování a konstrukční materiály. Vydal Koželouh, B. – KODR Zlín, 1998.
- 3) Blass, H. J. a kol.: Dřevěné konstrukce podle EUROKÓDU 5. STEP 2. Navrhování detailů a nosných systémů. Vydal Informační centrum ČKAIT, 2004.
- 4) Natterer, J. O. et al., Holzbau Atlas, Birkhauser – Verlag für Architektur, 2003, Basel, Schweiz, ISBN 3-7643-6984-1.
- 5) Příručka 1 a 2, <http://fast10.vsb.cz/temtis/cz>, 2008.
- 6) Kolektiv autorů, Dřevostavby a dřevěné konstrukce, I. a II. díl. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2010. ISBN 978-80-7204-732-1.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

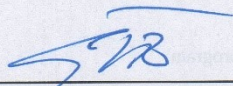
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2017

Datum odevzdání: 04.05.2018



doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Markvartovicích dne 1.května 2018

.....

Vojtěch Klimeš

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

- souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠBT-UO.

- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Markvartovicích dne 1.května 2018

.....
Vojtěch Klimeš

Anotace

Bakalářská práce se zabývá návrhem rozhledny z materiálů na bázi dřeva. Úvod je věnován historickému vývoji a typům rozhleden rozdělených podle materiálu. Dále jsou zde uvedeny tři rešerše konstrukčních variant rozhleden, z nichž jedna je vybrána a zpracována. Zpracování zahrnuje architektonický a dispoziční návrh, statický výpočet rozhodujících nosných prvků a ztužení, návrh a spojení nosných prvků konstrukce. Práce je doplněna výkresovou dokumentací.

Klíčová slova

Rozhledna, dřevěná nosná konstrukce, návrh, statický posudek

Annotation

The bachelor thesis deals with the design of a lookout tower made of wood-based materials. The thesis presents historical development and types of observation towers by material. There are also three researches of design variants of views, one of which is selected and processed. Processing includes architectural and layout design, static calculations of critical supporting elements and reinforcement, design and connection of structural elements of the structure. The work is completed with drawing documentation.

Keywords

Lookout tower, timber load-bearing structural, design, statical analysis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mi jakkoli pomohli a podporovali mě při tvorbě mé bakalářské práce. Děkuji vedoucímu mé práce doc. Ing. Antonínu Lokajovi, Ph.D. za cenné rady, odbornou pomoc a připomínky k řešení mé práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Davidu Mikoláškov, Ph.D. za pomoc při tvorbě výpočetního modelu.

Obsah

2	Úvod	12
3	Historický vývoj a typy rozhleden	12
3.1	Význam a definice rozhledny.....	12
3.2	Středoevropský fenomén.....	13
3.3.	Historie rozhleden v českých zemích.....	13
3.3.1	Počátek	13
3.3.2	Rozkvět.....	15
3.3.3	Úpadek.....	17
3.3.4	Obrození	17
3.4	Typy rozhleden.....	17
3.4.1.	Rozhledny dřevěné	18
3.4.1.1	Trámové.....	18
3.4.1.2	Kryté	18
3.4.2	Rozhledny ocelové	19
3.4.3	Rozhledny zděné	19
3.4.4	Rozhledny betonové	21
4	Variantní řešení turistické rozhledny z materiálů na bázi dřeva	22
4.1	První varianta	22
4.2	Druhá varianta.....	23
4.3	Třetí varianta	24
4.4	Výběr varianty.....	25
5	Dispoziční a architektonické řešení zvolené varianty rozhledny	26
5.1	Umístění a přístup k objektu	26
5.2	Analýza výhledu.....	27
5.3	Dispozice.....	28
6	Konstrukční řešení	31

6.1	Materiál	31
6.2	Sloupy	31
6.3	Vodorovné ztužení	31
6.4	Schodiště	32
6.5	Zastřešení	32
6.6	Ztužení.....	33
6.7	Zábradlí	33
6.8	Založení.....	34
6.9	Ochrana konstrukce.....	34
6.10	Postup výstavby.....	34
6.11	Výkaz materiálu.....	35
7	Statický výpočet rozhodujících nosných prvků a ztužení konstrukce.....	36
7.1	Materiál	36
7.1.1	Lepené lamelové dřevo GL24h	36
7.1.2	Rostlé dřevo C24	37
7.1.3	Ocel S235	38
7.1.4	Ocel S355	38
7.1.5	Ocel S460	38
7.1.6	Ocel 8.8	38
7.1.7	Ocel 4.8	39
7.2	Zatížení.....	39
7.2.1	Zatížení stálé.....	39
7.2.1.1	Od vlastní tíhy nosných prvků.....	39
7.2.1.2	Ostatní stálé zatížení.....	39
7.2.2	Zatížení proměnné	40
7.2.2.1	Užitné zatížení	40
7.2.2.2	Zatížení sněhem.....	40
7.2.2.3	Zatížení větrem.....	41

7.2.3	Výpočetní model	49
7.2.4	Zatěžovací stavy	50
7.2.5	Kombinace zatěžovacích stavů	58
7.2.5.1	MSÚ	59
7.2.5.2	MSP	59
7.2.5.3	Klíč kombinací	60
7.3	MSÚ – Posouzení vybraných prvků	61
7.3.1	Sloup.....	61
7.3.2	Táhlo.....	64
7.3.3	Vodorovné ztužení	65
7.3.4	Krokev	68
7.3.5	Nosník plošiny - hlavní	72
7.3.6	Nosník plošiny - vedlejší.....	75
7.3.7	Nosník schodnice	78
7.3.8	Schodnice	81
7.3.9	Kleština.....	84
7.4	MSP – Posouzení vodorovného průhybu	87
8	Návrh a posouzení vybraných spojů nosných prvků	89
8.1	Kotvení a přípoj sloupů.....	89
8.1.1	Patní deska.....	89
8.1.2	Kotvení šroubů	90
8.1.3	Smyková zarážka.....	91
8.1.4	Čepový spoj	92
8.1.5	Přípoj sloupu ke styčnickovému plechu.....	94
8.1.5.1	Posouzení kolíků	95
8.1.5.2	Posouzení styčnickového plechu.....	98
8.1.5.3	Posouzení sloupu	99
8.2	Přípoj vodorovného ztužení ke sloupu.....	100

8.3	Přípoj plošinového nosníku ke sloupu	102
8.4.1	Přípoj krokví ve vrcholu.....	104
8.5	Ostatní spoje.....	106
8.5.1	Přípoj kleštiny a krokve.....	106
8.4.1	Přípoj schodišťového nosníku ke sloupu.....	106
8.4.2	Přípoj krokve ke sloupu.....	107
8.4.3	Přípoj kleštin a sloupku	107
9	Závěr	108
10	Seznam použitých pramenů.....	109
10.4	Literatura	109
10.5	Internetové zdroje	109
10.6	Normy.....	110
11	Seznam obrázků a tabulek.....	111
10.1	Seznam obrázků.....	111
10.2	Seznam tabulek.....	112
12	Použitý programový software	115
13	Seznam příloh	116

2 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a posudkem rozhledny z materiálů na bázi dřeva. Začátek práce je věnovaný historickému vývoji a rozdělení rozhleden podle materiálu. Ve čtvrté kapitole jsou představeny tři variantní řešerše rozhleden, z nichž jedna je vybrána a dále zpracována. U této rozhledny je proveden architektonický a dispoziční návrh s ohledem na situování stavby v Opavské pahorkatině. Jedná se o samostatně stojící objekt, který je převážně tvořen dřevěnými prvky z lepeného lamelového dřeva, konstrukčně namáhané prvky jsou převážně z ocelových uzavřených profilů a podružné elementy z rostlého dřeva. Spoje jsou provedeny ocelovými konstrukčními prvky. Jednotlivé konstrukční části jsou popsány v šesté kapitole. V dalších částech práce je proveden statický výpočet rozhodujících nosných prvků a návrh a posouzení vybraných spojů konstrukce.

3 Historický vývoj a typy rozhleden

3.1 Význam a definice rozhledny

V historii nebylo zapotřebí přesné definice rozhledny, neboť lidé ve svém podvědomí tušili, že se jedná o vysokou stavbu umístěnou na kopci, která návštěvníkům poskytovala výhled na okolní krajinu. Koncem minulého století s rozvojem a vznikem nových typů rozhleden a zejména pak jejich množstvím, vznikl zájem o tyto stavby i v rovině teoretické. V naší zemi se o přesnou definici pojmu rozhledna poprvé pokusil pan prof. Ing. Jan Nouza CSc. ve své knize Rozhledny Čech, Moravy a Slezska [1]. Definici formuloval do pěti základních kritérií, kde rozhledna je podle něj stavba:

1. vytvořená lidskou činností
2. určená nebo dodatečně upravená k účelům rozhlížení
3. s vyhlídkovým prostorem umístěným alespoň několik metrů nad okolním terénem
4. přístupná široké veřejnosti (byť jen v určitém časovém nebo historickém období)
5. všeobecným povědomím jako rozhledna uznávaná.

Později v dalších knihách svá kritéria drobně upravil. K bodu č. 2 přibýlo před slovo rozhlížení slovo dálkové a v bodě č. 3 nahradil problematické slovo „několik“ číslovkou

čtyři. I přes všechnu snahu vymezit tento pojem, panují u některých rozhleden o jejich zařazení neshody, že některou z podmínek nesplňují stoprocentně. Uvědomíme-li si však, jak jsou rozhledny rozmanité, jde spíše o výjimky potvrzující pravidlo. Definici je tedy nutnou brát jen jako základní vodítko pro určení stavby, kterou můžeme označit termínem rozhledna.

3.2 Středoevropský fenomén

Naši předkové postavili rozhledny jako cíl turistických tras, národních poutí nebo obyčejných nedělních výletů. Česká republika tak patří mezi země s největším počtem rozhleden vůbec, koneckonců mimo několika středoevropských zemí jsou tyto turistické atrakce spíše výjimkou. Slovo rozhledna má v češtině ojedinělý význam, ne tak už v angličtině či francouzštině. Cizince na našich rozhlednách nejvíce udivuje kromě jejich počtu a architektonického řešení, také jejich zdánlivá nesmyslnost či nepraktičnost. Počtem rozhleden, nám můžou konkurovat jen naši středoevropští sousedé. Zejména Německo, které má stejně jako my bohatou rozhlednovou historii.

3.3. Historie rozhleden v českých zemích

Na našem území je historie rozhleden dlouhá již přes dvě století. Česká republika je totiž co se týče počtu, historie a oblíbenosti rozhleden světovou velmocí. Napomohla nám k tomu neobyčejně pestrá a různorodá příroda. Na našem území v minulosti stálo nebo dosud stojí až 350 rozhleden. Historie si prošla mnoha peripetiemi od obrovského boomu až po veliký úpadek.

3.3.1 Počátek

Předchůdcem rozhleden byly strážní věže, odtud se sledoval nepřítel a troubilo na poplach. Dnes už ztratily věže hradů svůj původní vojenský význam a slouží lidem k rozhledu po krajině. Tyto stavby však nebyly postavené za účelem turistického rozhlížení, takže se o rozhlednách hovořit nedá.

Až počátkem 19. století vznikají na našem území skutečné vyhlídkové stavby. Tyto stavby nebyly umístovány na kopci, nýbrž na rovinách či loukách. Byly to mohutné stavby, které si šlechta nechala stavět ve svých zámeckých parcích. Zmínit můžeme například Minaret v Lednicko-Valtickém areálu (Obr.1), jenž je naší nejstarší dochovanou rozhlednou. Vybudován byl v roce 1802 bohatým rodem Lichtenštejnů. Ještě o rok starší než Minaret, byla rozhledna v zámeckém parku Uherčice, z níž však již zbyla jen ruina. Další věže vznikly ve dvacátých letech 19. století. Z nichž můžeme uvést Cibulku v Praze (Obr.1), novogotický templ v Krásném Dvoře (Obr.1) a Gloriet v Průhonickém parku.

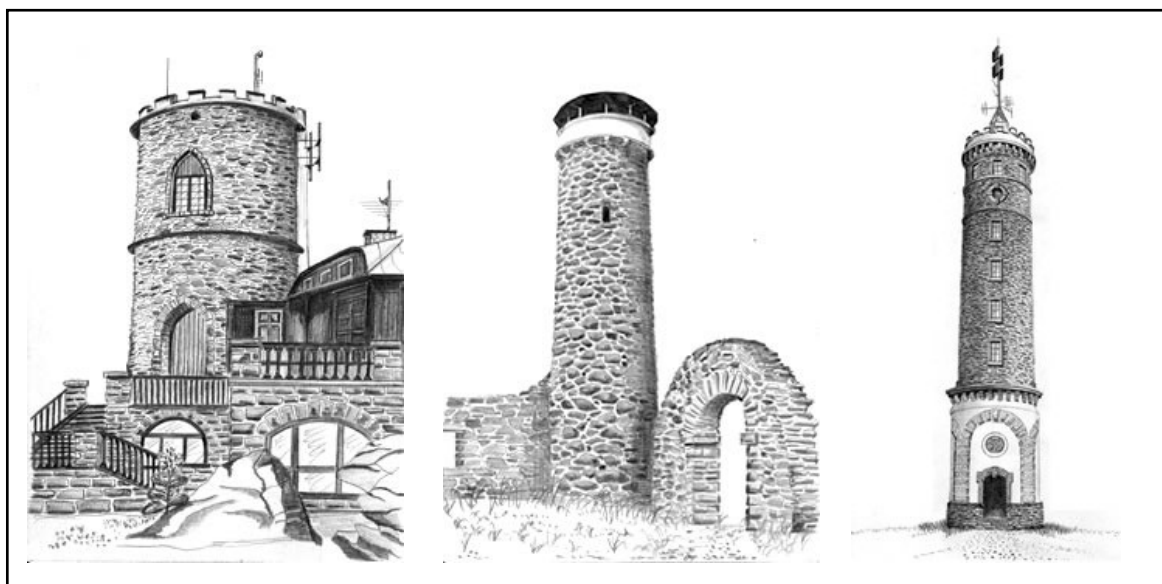


Obr. 1: Minaret (vlevo), Krásný dvůr (uprostřed), Cibulka (vpravo), [8]

První horskou rozhlednou se stala Josefská věž na Kleti (Obr.2) vybudovaná v roce 1825. Stavbu si na svém rozsáhlém panství nechal vybudovat kníže Josef Schwarzenberg. Původně mělo jít o soukromou stavbu. Zpřístupněna veřejnosti byla až v druhé polovině 19.století. V dalších letech už rozhledny vznikaly na více místech, přesto nepravidelně a s různým účelem.

V polovině 19. století probíhalo v rakousko-uherské monarchii zemské měření, na které navázalo měření evropské. Zaměřovací body měly většinou podobu obyčejné dřevěné konstrukce a po dokončení vyměřování sloužily turistům, měly však krátkou životnost. Někteří majitelé pozemků však neváhali investovat své finance a na místo jednoúčelových staveb dali postavit věže kamenné. Současně byly budovány lázeňské vyhlídkové stavby. S rozkvětem lázní přibývaly v lázeňských městech honosné kolonády, promenády či gloriety

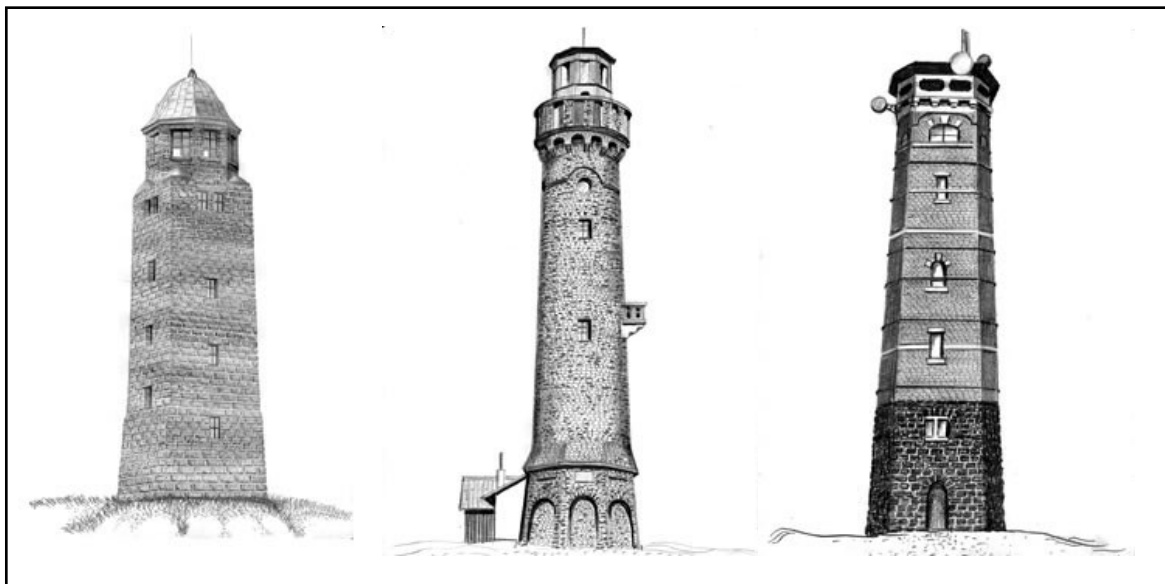
a města se zapojila také do výstavby rozhleden. Kolem našich největších lázní, Karlových Varů, vyrostla hned pětice rozhleden, nejstarší z nich stála na Doubské hoře. Ani další lázeňská města nezůstala pozadu, a tak můžeme například v Mariánských Lázních navštívit rozhlednu Hameliku (Obr.2) z roku 1876 a u městečka Jeseník kamennou rozhlednu Zlatý Chlum (Obr.2). Nejen lázeňská města chtěla podpořit rozvoj turistiky, do výstavby rozhleden ve městech se pouštěly zejména okrašlovací a zušlechťovací spolky.



Obr. 2: Klet' (vlevo) Hamelika (uprostřed), Zlatý Chlum (vpravo), [8]

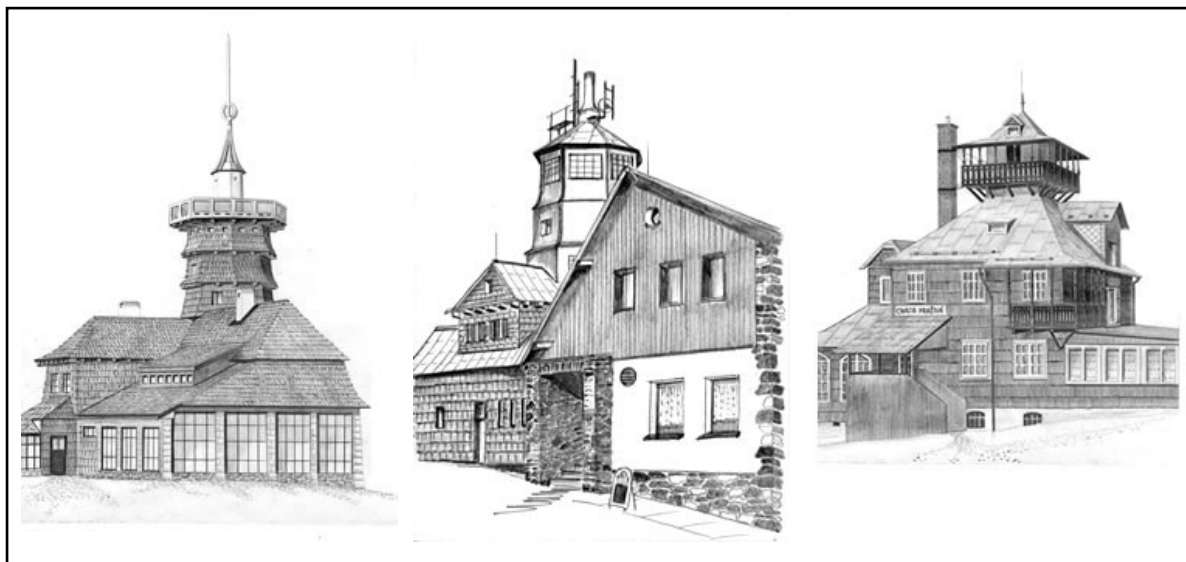
3.3.2 Rozkvět

Se zvyšujícím se zájmem o turistiku počátkem 80.let 19.století, narostly rozhledny jako houby po dešti. Začaly vznikat nové turistické spolky, které si z čirého nadšení a z vlastních našetřených peněz prováděly samotnou výstavbu. Lidé byli znechucení područím Rakouska-Uherska, chtěli proto poznávat svoji zemi. Postavená rozhledna byla otázkou jisté prestiže, a tak se jednotlivé spolky předháněly v počtu postavených rozhleden. Toto soutěžení dalo vzniknout novým osmdesáti rozhlednám. V tomto období až do počátku 1. světové války se stavěly především dřevěné věže, které příliš dlouho nevydržely. Známe je jen například ze starých dobových pohlednic. Na jejich místech pak často vznikaly nové kamenné (Bramberk, Frýdlanstská výšina, Tanečnice (všechny na Obr.3)).



Obr. 3: Bramberk (vl.), Frýdlantská výš. (uprostřed), Tanečnice (vpr.), [8]

První světová válka přinesla krátké zastavení rozhlednového nadšení. To se znovu rozjelo během období první republiky. V průběhu těchto 20 let se o rozhledny zasloužil hlavně Klub československých turistů (KČST). S rozpadem rakousko-uherské monarchie se změnil také vzhled stavěných rozhleden. Namísto osamocených rozhlednových věží se trendem staly víceúčelové budovy, které měly kromě vyhlídkového prostoru, možnost ubytování a stravování, případně disponovaly společenskými prostory. Z této doby pochází například Jiráskova chata s rozhlednou na Dobrošově u Náchoda (Obr.4) od známého architekta Dušana Jurkoviče. V podobném duchu byla postavena Matušova chata na Pancíři u Železné Rudy (Obr.4) nebo na moravě chata na Prašivé v Beskydech (Obr.4).



Obr. 4: Dobrošov (vlevo), Pancíř (uprostřed), Prašivá (vpravo), [8]

3.3.3 Úpadek

Krach Newyorské burzy a následná hospodářská krize se projevila ve všech aspektech tehdejšího života. Úpadek cestovního ruchu měl za následek také pokles výstavby rozhleden. O několik let později události vyvolané 2. světovou válkou a nástupem komunismu, se zapříčinily o úpadek rozhleden. Objekty (včetně rozhlednových), jež před rokem 1948 spravoval Klub československých turistů, byly znárodněny, a protože se o ně nikdo nestaral, chátraly. Překvapivý je fakt, že ačkoliv lidé nemohli volně vycestovat do zahraničí, nevyužívali ani příležitosti pro cestování po českých krásách a rozhlednách. Raději se na víkendy uchylovali do svých chat a chalup, které se staly naprostým fenoménem. S rozšířením televizí do domácností se začaly na našich kopcích budovat zcela odlišné věže – věže televizních vysílačů. Těch se u nás od roku 1950 do roku 1989 postavilo 37, zatímco vyhlídkové věže by se daly spočítat na prstech dvou rukou.

3.3.4 Obrození

Po sametové revoluci nastala největší expanze rozhleden v celé její dvoustleté historii. Počet nových rozhleden přesáhl hranici sta. Zažíváme tedy opravdový rozkvět v této oblasti. Od pádu komunismu se v České republice otevírá každý rok alespoň jedna nová či zrekonstruovaná rozhledna. Může za to nejen obnovená tradice Klubu českých turistů a dalších spolků, nýbrž také svoboda podnikání a nové trendy v oblasti cestovního ruchu. V žebříčku oblíbenosti u mnoha turistů směle přeskakují některé hrady a zámky. Vyhlídková místa obecně, rozhledny nevyjímaje, jsou vyhledávaným cílem nebo jen zastávkou pro cyklovýlety, bývají příjemným zpestřením na vycházkách rodin s dětmi, ale oblíbené jsou snad u všech věkových kategorií.

3.4 Typy rozhleden

Rozdělit vyhlídkové stavby lze mnoha způsoby. Nejvýstižnější způsob rozdělení se jeví na použití podle převažujícího materiálu, který byl na stavbu použit. Podle toho rozdělujeme rozhledny na dřevěné, kamenné, zděné, ocelové a betonové.

3.4.1. Rozhledny dřevěné

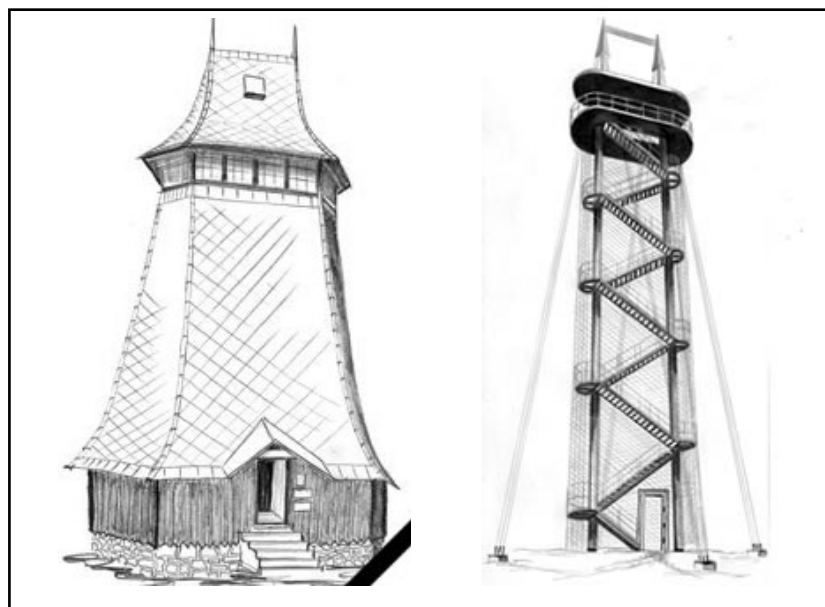
Jedná se o stavebně jednodušší a levnější typy vyhlídkových staveb. Dřevěné konstrukce stavěly začínající turistické spolky na přelomu 19. a 20. století, byly totiž relativně laciným a současně účinným prostředkem, jak své sdružení zviditelnit. V současné době je dřevo opět v módě. Architekti usilují o to, aby rozhledna dotvářela ráz krajiny, a proto se snaží používat přírodní materiál.

3.4.1.1 Trámové

Stavebně nejjednodušší a současně nejlevnější bývaly rozhledny sestavené z otesaných trámů. Plnily beze zbytku svůj hlavní účel – výhled. Neměly žádnou ochranu před deštěm a větrem. Tento typ klasické dřevěné trámové rozhledny dnes už v Čechách ani na moravě prakticky nenajdeme. Některé z trámových rozhleden působily opravdu bytelně a vzdorovaly nepříznivým vlivům počasí i několik desítek let. Například rozhledna na Hlinském vrchu u Ivančic z roku 1910 přežila dvě světové války. Nejdelšího věku se dožila dřevěná trámová rozhledna na Smrku v Jizerských horách. Díky péči místních německých turistů, kteří každoročně prováděli nátěry a výměnu narušených částí, fungovala od roku 1892 až do roku 1946. Spadla začátkem padesátých let, kdy už se o ni nikdo nestaral.

3.4.1.2 Kryté

Podstatně větší šanci na přežití měly rozhledny kryté s vnějším opláštěním, které sloužilo nejen k ochraně návštěvníků, ale i k ochraně rozhledny samotné. Některá dřevěná opláštění rozhleden byla později nahrazena ocelovými. Díky jejich trvanlivosti se do našich časů několik zachovalo. Do nedávna jsme mohli obdivovat známou rozhlednu Hýlačku u Tábora na Velkém Bláníku (Obr.6) ve tvaru husitské hlásky. Tato rozhledna sloužila turistům 70 let, což z ní dělalo zřejmě nejstarší dochovanou dřevěnou rozhlednu u nás. Avšak na Nový rok 2017 za neupřesněných příčin vyhořela. Na jejím místě dnes stojí nová ocelová rozhledna.



Obr. 5: Bývalá Hýlačka (vlevo), nová Hýlačka (vpravo), [8]

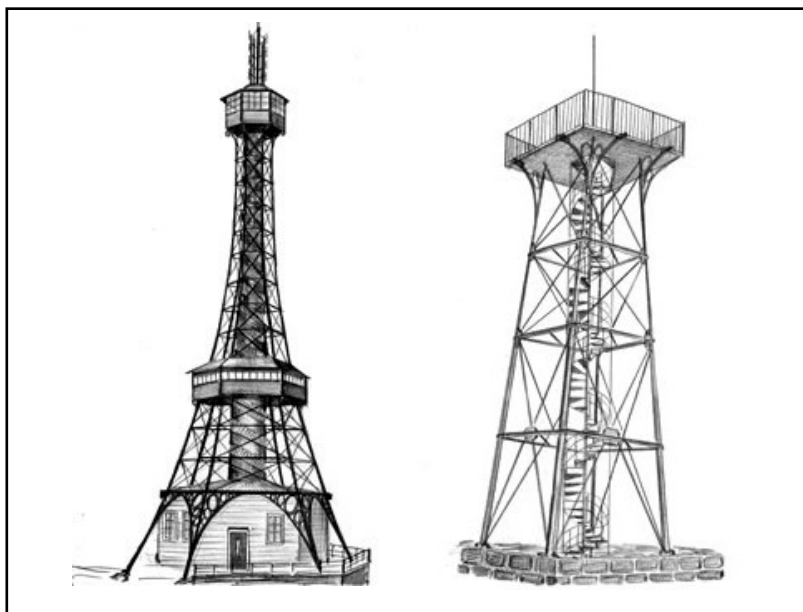
3.4.2 Rozhledny ocelové

Tyto rozhledny jsou jakousi obdobou dřevěných trámových konstrukcí. Připomínají nám je svou vzdušností a úsporností materiálu. Značný rozdíl je pak pochopitelně v pevnosti a odolnosti stavby proti nepřízni počasí. Zatímco ocelové rozhledny v minulosti nebyly u nás tak rozšířené, v posledních letech se na našich kopcích objevují čím dál častěji. Současné ocelové věže nejsou čistě turistické objekty, ale slouží telekomunikačním účelům. Nejznámější ocelovou rozhlednou v Česku je Petřínská rozhledna v Praze (Obr.6). Nejstarší ocelovou rozhlednou v zemi je rozhledna na Slovance v Jizerských horách (Obr.6) postavená roku 1887.

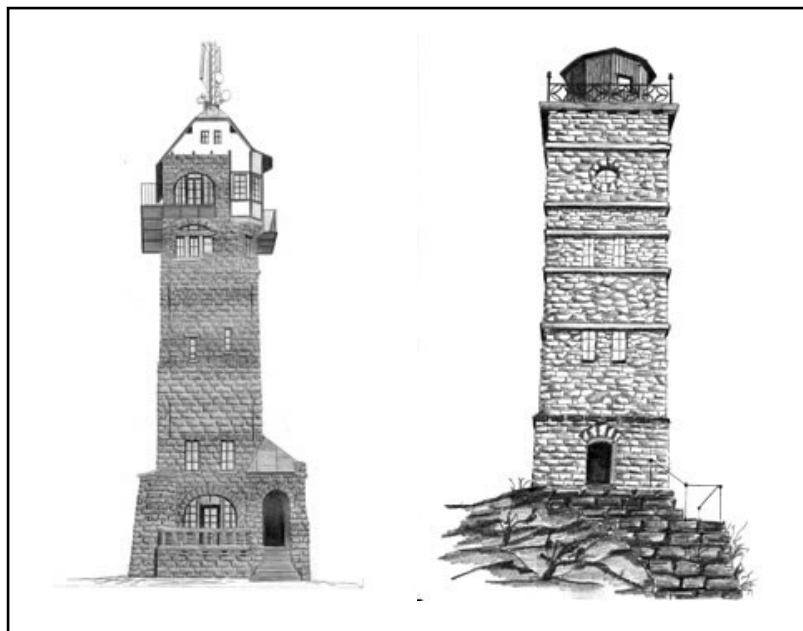
3.4.3 Rozhledny zděné

Zděných rozhleden se samozřejmě dochovalo nejvíce. Ať už byly stavěny z kamene či později z cihel. Cihlové rozhledny najdeme nejčastěji v okolí měst. Patří k nim Goethova vyhlídka u Karlových varů z roku 1889 nebo Špičák u České Lípy vystavěný občany města v roce 1884. K reprezentativním zděným stavbám patří také rozhledna na Kopanině, kterou postavil klub českých turistů. Naopak kámen sloužil při stavbě horských rozhleden. V Jizerských horách tomu byla žula, na Děčínském sněžníku pískovec nebo čedičové kvádry

na Kamenickém vrchu. Z kamenných rozhleden můžeme jmenovat Tisovský vrch u Nejdku v Krušných horách (Obr.7) z roku 1897, Zlatý Chlum u Jeseníku (Obr.2) či Královka v Jizerských horách (Obr.7) z roku 1907.



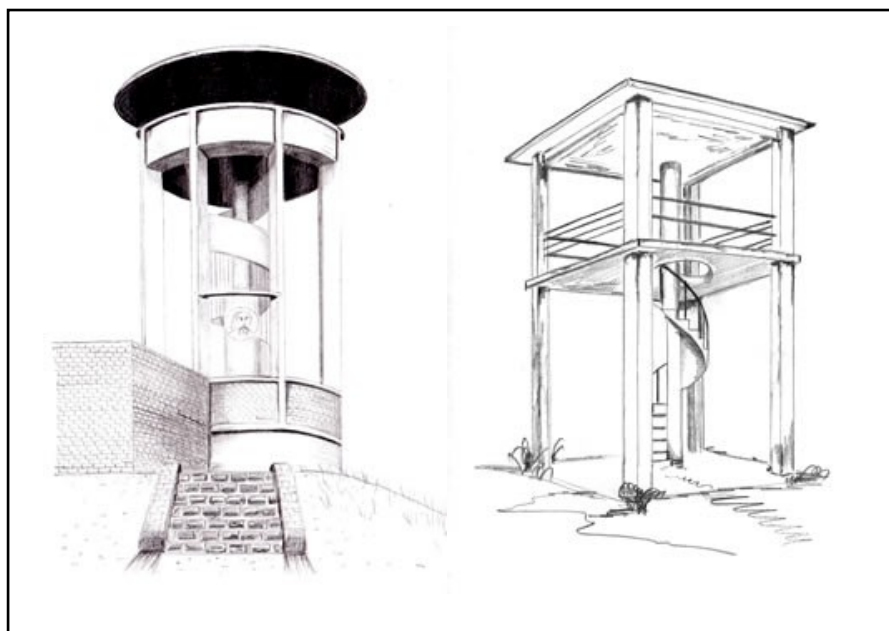
Obr. 6: Petřín (vlevo), Slovanka (vpravo), [8]



Obr. 7: Tisovský vrch (vlevo), Královka (vpravo), [8]

3.4.4 Rozhledny betonové

Ve třicátých letech přichází ke slovu beton. Roku 1930 byla postavena naše nejmenší rozhledna na Semenci u Týna nad Vltavou (Obr.9). Podobnou vyhlídku z betonu najdeme také na Réně u Ivančic vybudovanou v témže roce. V polabské rovině v městském parku v Roudnici nad Labem se nachází velmi elegantní betonová rozhledna zvaná Kratochvílova (Obr.8).



Obr. 8: Semenec (vlevo), Kratochvílova rozhledna (vpravo), [8]

4 Variantní řešení turistické rozhledny z materiálů na bázi dřeva

V této kapitole budou představeny varianty rozhledny z materiálů na bázi dřeva. Jedná se o koncepční návrhy, demonstrující předběžnou geometrii konstrukce, půdorysný tvar, způsob ztužení, předběžné řešení schodiště či způsob zastřešení. Základem pro návrh byla myšlenka vytvořit atypickou konstrukci s ohledem na stabilitu a hospodárnost. Cílem bylo vytvořit varianty, jejíž společným prvkem je kruhový půdorys, který nejlépe dovoluje rozhled po krajině na všechny strany. Všechny varianty jsou pro představu znázorněny ilustračními pohledy. Jedna z uvedených variant bude následně vybrána a detailněji zpracována v dalších částech této práce.

4.1 První varianta

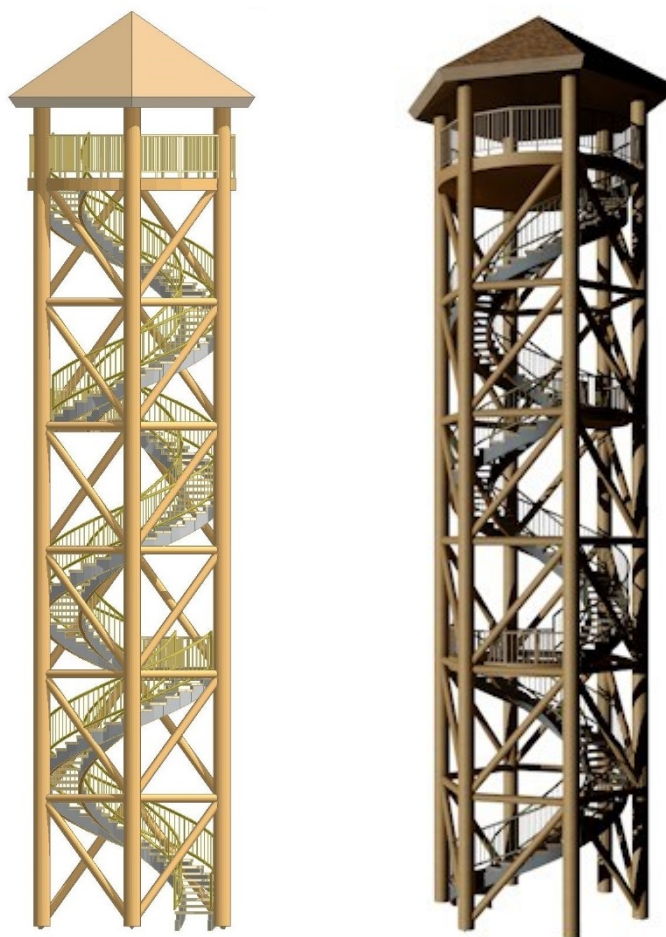
Hlavní nosná část rozhledny se skládá ze šestnácti smrkových klád, postavených ve tvaru hyperboly, doplněný v jádru kovovým vřetenovým schodištěm a zastřešeným vyhlídkovým ochozem. Půdorysný rozměr rozhledny nad základy má 6 metrů. Nejužší místo je situováno přibližně do 2/3 výšky stavby a činí v průměru 4 metry. Polovina sloupů je od své svislice odchýlena o 10 stupňů, druhá polovina o 20 stupňů, to proto aby si nepřekážely a mohly se vzájemně provázet. Celková výška rozhledny je 18 metrů. Výška vyhlídkové plošiny je ve výšce 15 metrů, její půdorysný rozměr je 4,7 metry. Na vyhlídku se dostaneme z kruhového točitého schodiště, jehož stupně jsou vetknuty do trubkového sloupu z oceli. Ocelové vřeteno je ve vrcholu zaklíněno do dřevěné konstrukce vyhlídkové plošiny. Výstup je průběžný od země až po vyhlídku. Zastřešení je provedeno ve tvaru osmiúhelníku. Osm nárožních krokví je podporováno osmi sloupy, které vystupují nad vyhlídku. Krokve jsou ve svém vrcholu podepřeny sloupkem. Sklon střešních rovin je 20 stupňů.



Obr. 9: 1. Varianta – čelní pohled (vlevo), realistický 3D pohled (vpravo)

4.2 Druhá varianta

Nosný systém tvoří kulatiny z rostlého dřeva. Šestice sloupů jsou umístěny ve vrcholech imaginárního šestiúhelníku, jehož opsaná kružnice má průměr 5 metrů. Sloupy jsou osazeny svisle od paty až k vrcholu. Jejich celková výška činí 20 metrů. Vyhlídka se nachází ve výšce 18 metrů. Na vyhlídku vede točité schodiště, jenž má dvě podesty ve výšce 6 a 12 metrů. Ty jsou ukotveny do nosných sloupů. Schodiště je ocelové s ocelovým zábradlím a dřevěnými stupni. Konstrukci po obvodu ztužují vodorovné kulatiny, jenž dělí rozhlednu na jednotlivé segmenty po 3 metrech. Rovněž je provedeno zavětrování jednou diagonální kulatinou mezi jednotlivými sloupy, která střídá svou orientaci v jednotlivých polích. Zastřešení má šest nakloněných rovin se sklonem 35 stupňů, jenž kopírují půdorysné rozložení stavby. Skládá se z 6 nárožních krokví, které se ve svém vrcholu o sebe navzájem opírají.

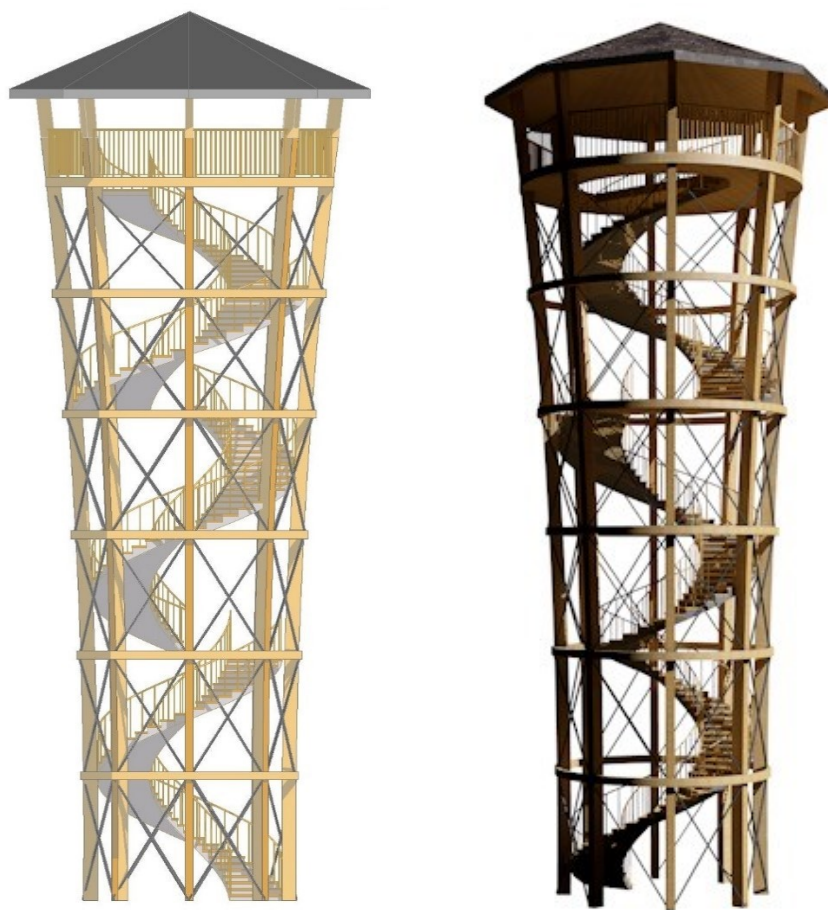


Obr. 10: 2.Varianta – čelní pohled (vlevo), realistický 3D pohled (vpravo)

4.3 Třetí varianta

Půdorys rozhledny tvoří osmiúhelník, kde v každém jeho vrcholu prochází sloup. Tyto sloupce se starají o nosnou část této varianty rozhledny. Jsou provedeny z 8 hranolů z lepeného lamelového dřeva, které mají konstantní průřez po celé své délce. Tyto sloupce se ubíhají s výškou stavby od své svislice. Rozhledna je vysoká 22 metrů a vyhlídka je ve výšce 18 metrů. Na vyhlídku se dostaneme z levotočivého spirálového schodiště se dvěma odpočívadly, ukotvených do nosných sloupů. Podestové odpočívadla dělí výstup rozhledny na 3 trakty po 6 metrech. Ocelové schodiště s ocelovými roštovými stupni vede po vnitřním obvodu konstrukce. Půdorys rozhledny je ve tvaru osmiúhelníku, jehož opsaná kružnice má v průměru 5 metrů, vyhlídková plošina má pak v průměru 7 metrů. Ztužení rozhledny je provedeno dvěma stavebními prvky. Prvním je ocelové vodorovné ztužení svírající sloupce po výšce vždy po 3 metrech. Druhým jsou dvojice ocelových tyčí ve tvaru ondřejských křížů,

vyplňující pole mezi sloupy a obručemi. Zastřešení je rovněž provedeno jako u první varianty ve tvaru osmiúhelníku se sklonem střešních rovin 25 stupňů.



Obr. 11: 3. Varianta – čelní pohled (vlevo), realistický 3D pohled (vpravo)

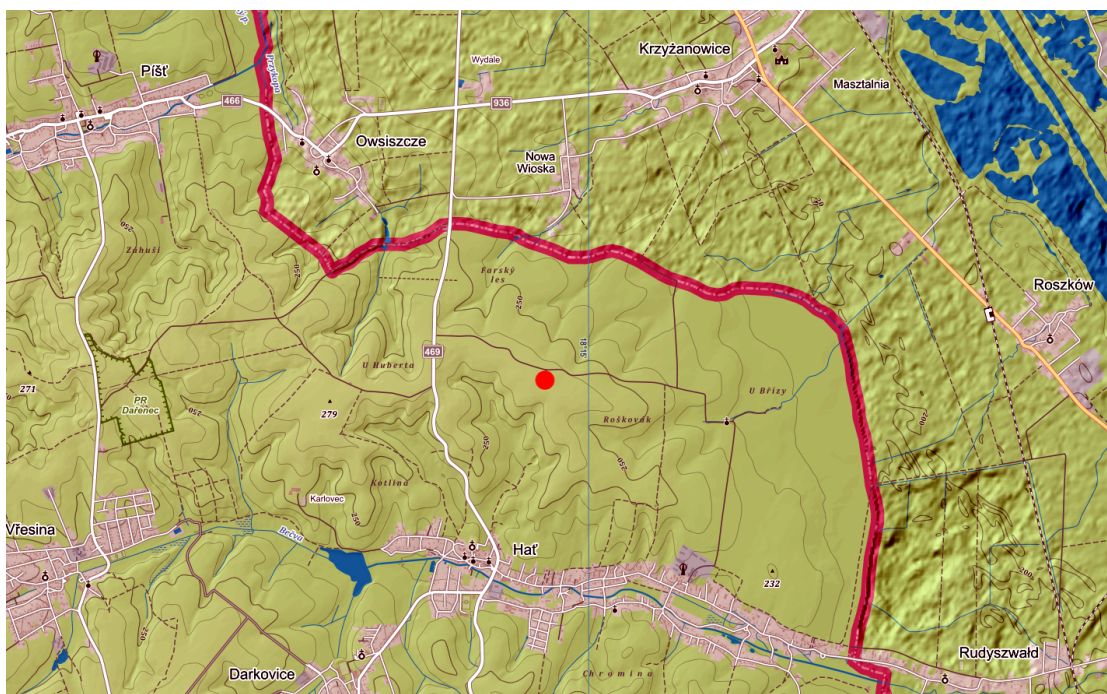
4.4 Výběr varianty

Pro konstrukční a statický návrh byla zvolena třetí varianta. Z architektonického hlediska působí tato varianta nejlepším dojmem. Také má tato rozhledna větší plochu hlavní vyhlídky.

5 Dispoziční a architektonické řešení zvolené varianty rozhledny

5.1 Umístění a přístup k objektu

Vyhlídková věž se nachází v Opavské pahorkatině blízko obce Hať. V plochém reliéfu na hřebítku při severním okraji katastru v nadmořské výšce 268 m n. m. V blízkosti navrhované stavby je státní hranice s Polskou republikou. Rozhledna leží v intenzivně využívané zemědělské krajině s dominancí orné půdy. Velikost zemědělských ploch je spíše malá a krajina je ještě dále členěna remízky. Přístup je možný ze silnice II. třídy č.469 s odbočkou na pěšinu v místě zvaném U Huberta. Nebo z cyklistické stezky, která spojuje obci Hať s polskou obcí Krzyżanowice.



Obr. 12: Mapa umístění rozhledny



Obr. 13: Umístění do krajiny

5.2 Analýza výhledu

Výhled je možný na všechny světové strany. Jižní výhled patří celé Ostravě. Při dobré viditelnosti jsou vidět vrcholy Moravskoslezských Beskyd. Postupně na východ vidíme město Bohumín s tepelnou elektrárnou v Dětmovicích. Od východu na sever pak polský výhled na řeku Odru s krzyżanowickými rybníky a za nimi v dálce město Rybnik. Severněji vidíme polskou krajinu s mnoha vesnicemi a s městem Racibórz. Na západě směrem k jihu spatříme Hlučínsko zejména přilehlou vesnici Hať a Darkovice.



Obr. 14: Jihovýchodní pohled



Obr. 15: Severovýchodní pohled



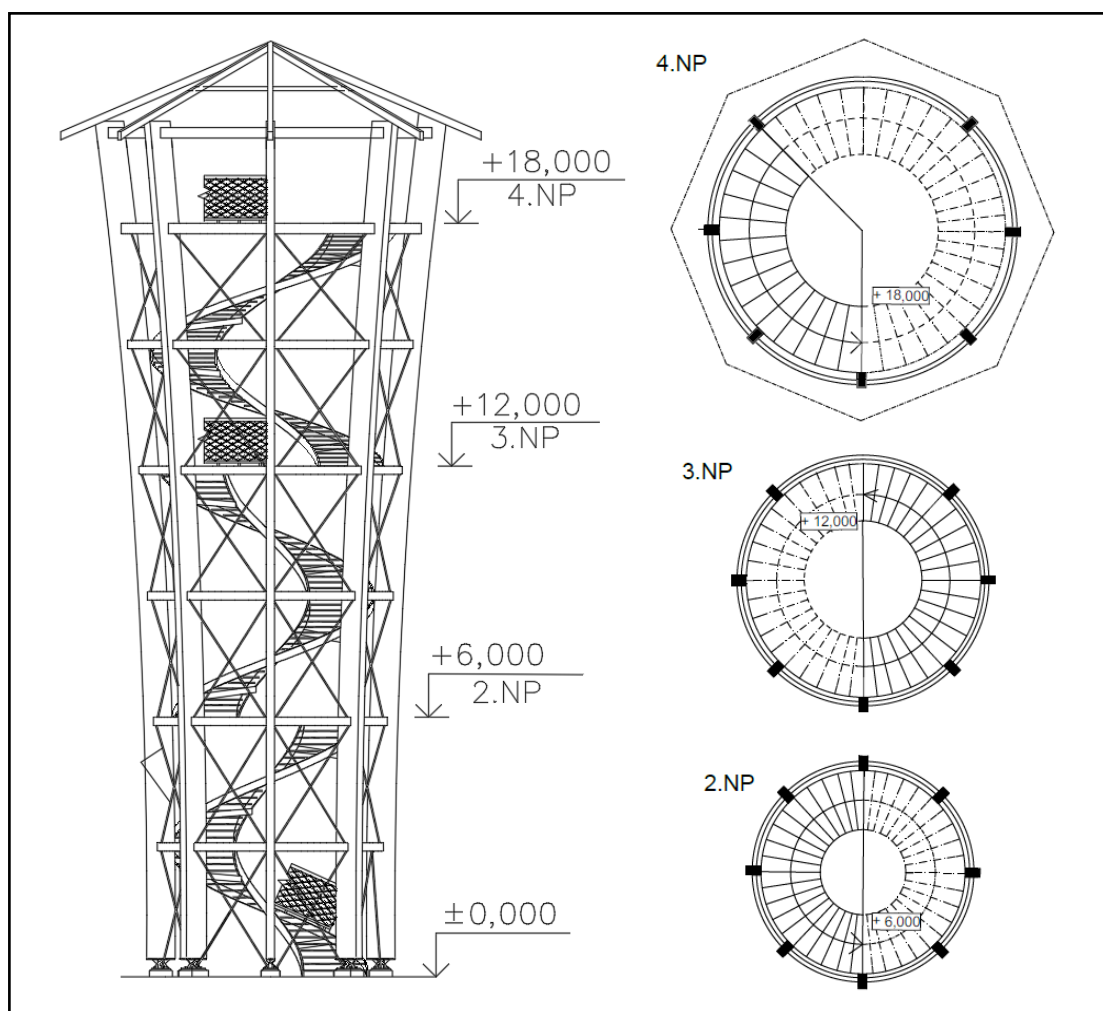
Obr. 16: Severní pohled

5.3 Dispozice

Půdorysný tvar rozhledny je pravidelný osmiúhelník, jehož vnější průměr se mění po výšce stavby. Celková výška rozhledny je 22 metrů. Vyhlídková věž je po výšce rozdělena na čtyři přístupné výškové úrovně. Pomyslné výškové dělení konstrukce však nalezneme v konstrukční výšce po 3 metrech, které nám znázorňují vodorovné ztužující ocelové obruče.

Stoupání na vyhlídku v 4. nadzemním podlaží je přerušeno odpočívadly na podestách ve výškách šesti a dvanácti metrů. Odpočívadla jsou od sebe vzájemně pootočena o 180°.

V jádru konstrukce je situováno spirálové schodiště s levotočivým stoupáním. Schodišťové stupně jsou lichoběžníkového tvaru a jejich výška činí 167 mm. V jednom schodišťovém rameni je 36 stupňů. Na vyhlídku vede celkem 108 schodů. Po celé jeho délce i na podestách je vybaveno zábradlím s minimální výškou 1,1 metrů nad horní úroveň příslušné podlahy. Schodiště má po celé své délce konstantní šířku ramene 1,5 m. Průměr zrcadla je po výšce proměnlivý.



Obr. 17: Umístění plošiny



Obr. 18: Reálné vizualizace rozhledny

6 Konstrukční řešení

6.1 Materiál

Celá konstrukce vyhlídkové věže je převážně tvořena z lepeného lamelového dřeva pevnostní třídy GL24h a oceli třídy S355. Táhla jsou z oceli pevnostní třídy S450. Podružné prvky, jako jsou schodišťové stupně pak z oceli S235. Zastřešovací prvky (kleštiny, sloupek) jsou provedeny z rostlého dřeva pevnostní třídy C24. Všechny dřevěné prvky jsou spojeny pomocí různých spojovacích prostředků, které jsou vyhotoveny z oceli.

6.2 Sloupy

Sloupy jsou obdélníkového průřezu 240x680mm z lepeného lamelového dřeva třídy GL24h. Celková délka sloupu je 21,7 m s poloměrem zakřivení 150,9 m, proto je půdorysný průměr po výšce proměnlivý. Celkový úhel oblouku činí 8°. Sloupy tvoří hlavní nosný systém rozhledny, přenášejí zatížení z krovu a obručí. S vodorovnými obručemi jsou sloupy vzájemně propojeny. Nepředpokládá se dělení sloupu na jednotlivé části. Pokud by však byla přeprava problematická, může se uvažovat rozdělení sloupu ve třetině jeho délky v místě malých ohybových momentů. Montážní spoj by pak byl realizován pomocí kolíků a styčnickových plechů. Sloupy jsou k základům připojeny pomocí kloubových patek.

6.3 Vodorovné ztužení

Obruče ztužují konstrukci ve vodorovném směru a zajišťují stabilitu sloupů. Jsou provedeny z jaklových profilů obdélníkového tvaru. Tyto uzavřené profily mají rozměr 200x80 mm a tloušťku 6 mm. Obruče z oceli byly upřednostněny před lamelovým dřevem hlavně z hlediska ekonomického. Poloměr zakřivení 2,5 m je pro dřevo příliš malý a lamely by musely být provedeny v malé tloušťce, což by se negativně projevilo na nákladech. Ocel bude lépe snášet napětí, které bude vneseno při zkroucení prvku. Dále se na obruč budou lépe přichycovat táhla pomocí navařených plechů. Bylo také rozhodnuto, že obruče nebudou

kopírovat vnější obrys stavby, ale budou rozděleny mezi sloupy, aby u napojených táhel při roznosu zatížení nevznikala nežádoucí excentricita.

6.4 Schodiště

Nosnou funkci schodiště zajišťují nosníky jaklového profilu obdélníkového tvaru 140x80x8 mm, které jsou upevněny jako konzoly na každém sloupu. Na tyto nosníky je navařena dvojice schodnic, k nimž jsou připevněny jednotlivé stupnice. Schodnice jsou rovněž uzavřeného profilu 140x40x5 mm. Přenášejí zatížení od schodišťových stupňů a od zábradlí.

Stupně slouží především k roznosu užitého zatížení do schodnic. Schodišťové stupně jsou lichoběžníkového tvaru a jejich výška činí 167 mm. Schodišťové stupně jsou určeny k našroubování do nosné konstrukce schodiště. Jsou z nášlapné strany osazeny protiskluzovou nášlapnou hranou a boky stupňů jsou opatřeny otvory normovaných rozměrů pro jednoduchou a rychlou montáž do konstrukce. Stupeň je proveden ze svařovaného schodišťového roštu NOVING z oceli S235. Po celé délce i na podestách je schodiště vybaveno zábradlím s minimální výškou 1,1 metrů nad horní úroveň příslušné podlahy.

6.5 Zastřešení

Střecha je provedena ve tvaru jehlanu s osmiúhelníkovou podstavou. Celkem ji tvoří 8 nárožních krokví, které jsou podporovány sloupy. Krokve jsou navrženy z obdélníkového průřezu o rozměrech 180x120 mm z lepeného lamelového dřeva pevnostní třídy GL24h. Slouží k přenosu zatížení od své vlastní tíhy, tíhy střešního pláště a klimatického zatížení ze střešní roviny do vnějšího konstrukčního systému. Všechny pruty jsou ke sloupům a mezi sebou připojeny kloubově.

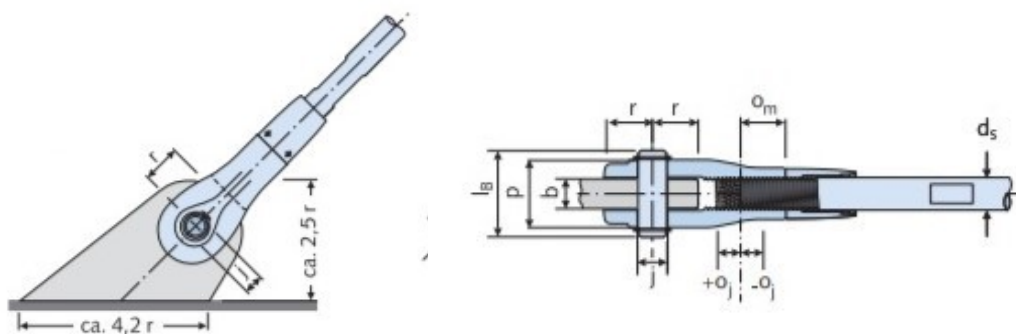
Vrchol střechy je podporován sloupkem 120x120 mm, jehož drží dvojice kleštin. Názořněji viz obrázek (Obr.19). Střešní plášť je tvořen měděným oplechováním, pojistnou hydroizolační fólií, celoplošným bedněním z OSB desek a latěmi. Bednění je uchyceno do latí a ty jsou připevněny do nosné konstrukce střechy (krokví). Na spodní straně je střešní konstrukce zaklopena obkladovými palubkami. Na vrcholu rozhledny je osazen bleskosvod uzemněný v základové půdě.



Obr. 19: Konstrukce zastřešení

6.6 Ztužení

Ztužidla jsou provedena systémem táhel. Vyplňují pole mezi sloupy Jsou kotvena do čelní desky (přípoj obruče a sloupu). Vedeny jsou diagonálně po páru, takže vytvářejí kříž. Ztužidla přenášejí pouze tahovou sílu, omezují deformaci konstrukce a podílejí se na přenosu vodorovného zatížení mezi jednotlivými patry.



Obr. 20: Kotvení a řez táhla, [13]

6.7 Zábradlí

Všechny podesty a schodiště jsou chráněny proti pádu zábradlím vysokým 1,1 metrů, což odpovídá hloubce volného prostoru od 12 do 30 m. Bylo zvoleno zábradlí, jehož plocha

je vyplněna ocelovou sítí Carl Stahl X-TEND. Zábradlí se skládá z horního madla a dolního okopníku ocelových uzavřených průřezů. Uchycení zábradlí je provedeno pomocí kotevních desek.

6.8 Založení

Stavba vyhlídkové věže bude založena na principu gravitačního základu jako základová patka, která je schopna přenášet tlakové i tahové síly vyvozované na základ. Výhodou je velká hmotnost základové desky, protože při zatížení větrem vznikají ve sloupech velké tahové síly, přičemž hmotnost desky působí příznivě na její stabilitu proti překlolení. Návrh spodní stavby nebyl předmětem bakalářské práce a je pouze orientační. Geologické poměry v podloží nejsou známy. Pevnostní třída betonu spodní stavby byla stanovena jako C20/25.

6.9 Ochrana konstrukce

Dřevo je organický materiál a bývá poškozeno biologickými či klimatickými vlivy. Je nutné ho chránit proti hnilobě, bakteriím, houbám, plísním a dřevokaznému hmyzu. Proti těmto vlivům proto bude opatřeno chemicky impregnačním nátěrem Belinka, který bude proveden přímo na stavbě.

Jelikož ocel ve styku s atmosférickým kyslíkem koroduje, což má za následek znehodnocení materiálu, budou ocelové prvky konstrukce vyhlídkové věže opatřeny minimální tloušťkou ochranného povlaku proti korozi. Všechny ocelové prvky včetně spojů a zábradlí budou ochráněny žárovým zinkováním. Před zinkováním musí být materiál zbaven všech nečistot, rzi, mastnoty a prachu.

6.10 Postup výstavby

Prvně se provede realizace spodní stavby. Po zaměření základu se provedou výkopové práce, následně se vybetonuje podkladní beton, vyváže a osadí se betonářská

výztuž a provede se bednění. Před betonáží se osadí kotevní šrouby s kotevní hlavou pro kotvení sloupů dle geodetického zaměření a následně se základ vybetonuje.

Dřevěné sloupy z lepeného lamelového dřeva jsou prohnuté, proto bude potřeba jejich speciální výroba. Ostatní pruty z rostlého dřeva jsou navrhnuty v obvyklých profilech, proto nebude potřeba žádných speciálních požadavků na výrobu. Před montáží budou pruty upraveny do požadovaných délek a bude u nich provedena impregnace.

Při montáži se jednotlivé fáze výstavby musí staticky ověřit. Protože je konstrukce navržena na užité zatížení a zatížení sněhem a větrem, nepředpokládá se, že by v jednotlivých fázích výstavby výpočet nevyhověl. Před montáží konstrukce je potřeba, aby bylo zkontrolováno osazení kotevních šroubů patních desek. Montážní práce je nutno provádět pomocí jeřábu. Nejprve se vztyčí a ukotví sloupy. Sloupy se dočasně zajistí lany. Vzniklé sloupy se mezi sebou spojí ztužidly. Výstavba pak bude probíhat po jednotlivých patrech. Montáž bude probíhat zdola nahoru. Osadí se prvky plošin. Na sloupy je pak možné osadit konstrukci schodiště. Přišroubují se schodišťové stupně, aby bylo možné vystoupat na vrchol konstrukce. Na horní konec sloupů se osadí krokve. Provede se samotná montáž krokví, střešního pláště a ostatního vybavení rozhledy.

Postup výstavby je pouze orientační a je nutné ho více specifikovat.

6.11 Výkaz materiálu

Výkaz materiálu byl proveden v programu Scia engineer. Jsou v něm zahrnuty hlavní nosné prvky, které se podílejí na roznosu zatížení.

Materiál	Objem [m³]	Hmotnost [kg]	Sumy hmotnosti oceli a dřeva [kg]
S355	1,04	8176,4	9669,7
S460	0,19	1493,3	
C24	0,13	52,6	11678,5
GL24h	27,68	11625,9	
		Celkem	21348,2

Tab. 1: Výkaz materiálu

7 Statický výpočet rozhodujících nosných prvků a ztužení konstrukce

7.1 Materiál

7.1.1 Lepené lamelové dřevo GL24h

Dílčí součinitel vlastnosti materiálu	γ_m	1,25	[-]
Modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti	k_{mod}	0,7	[-]
Součinitel dotvarování	k_{def}	2,0	[-]
Charakteristická pevnost v ohybu	$f_{m,k}$	24,0	[MPa]
Charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny	$f_{t,0,k}$	16,5	[MPa]
Charakteristická pevnost v tahu kolmo k vláknům	$f_{t,90,k}$	0,4	[MPa]
Charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k}$	24,0	[MPa]
Charakteristická pevnost v tlaku kolmo k vláknům	$f_{c,90,k}$	2,7	[MPa]
Charakteristická pevnost ve smyku	$f_{v,k}$	2,7	[MPa]
Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean}$	11600	[MPa]
5% kvantil modulu pružnosti kolmo k vláknům	$E_{0,05}$	9400	[MPa]
Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean}$	390	[MPa]
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	G_{mean}	720	[MPa]
Hustota	ρ_k	380	[kg/m ³]

Tab. 2: Charakteristiky materiálu LLD GL24h

Návrhové hodnoty pevností:

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{24}{1,25} = 13,44 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{16,5}{1,25} = 9,24 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{24}{1,25} = 13,44 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,51 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{2,7}{1,25} = 1,51 \text{ MPa}$$

7.1.2 Rostlé dřevo C24

Dílčí součinitel vlastnosti materiálu	γ_m	1,3	[-]
Modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti	κ_{mod}	0,7	[-]
Součinitel dotvarování	κ_{def}	2,0	[-]
Charakteristická pevnost v ohybu	$f_{m,k}$	24,0	[MPa]
Charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny	$f_{t,0,k}$	14,0	[MPa]
Charakteristická pevnost v tahu kolmo k vláknům	$f_{t,90,k}$	0,4	[MPa]
Charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k}$	21,0	[MPa]
Charakteristická pevnost v tlaku kolmo k vláknům	$f_{c,90,k}$	2,5	[MPa]
Charakteristická pevnost ve smyku	$f_{v,k}$	4,0	[MPa]
Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean}$	11000	[MPa]
5% kvantil modulu pružnosti kolmo k vláknům	$E_{0,05}$	7400	[MPa]
Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean}$	370	[MPa]
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	G_{mean}	690	[MPa]
Hustota	ρ_k	350	[kg/m ³]
Průměrná hodnota hustoty	ρ_{mean}	420	[kg/m ³]

Tab. 3: Charakteristiky materiálu RD C24

Návrhové hodnoty pevností:

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{24}{1,3} = 12,92 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{14}{1,3} = 7,54 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{21}{1,3} = 11,31 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{2,5}{1,3} = 1,35 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} = 0,7 \cdot \frac{4}{1,3} = 2,15 \text{ MPa}$$

7.1.3 Ocel S235

parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M0}	1,0	[-]
parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M1}	1,0	[-]
charakteristická mez kluzu	f_y	235	[MPa]
charakteristická mez pevnosti	f_u	360	[MPa]
modul pružnosti	E	210	[GPa]

Tab. 4: Charakteristiky materiálu ocel S235

7.1.4 Ocel S355

parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M0}	1,0	[-]
parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M1}	1,0	[-]
charakteristická mez kluzu	f_y	355	[MPa]
charakteristická mez pevnosti	f_u	510	[MPa]
modul pružnosti	E	210	[GPa]

Tab. 5: Charakteristiky materiálu ocel S355

7.1.5 Ocel S460

parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M0}	1,0	[-]
parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M1}	1,0	[-]
charakteristická mez kluzu	f_y	460	[MPa]
charakteristická mez pevnosti	f_u	540	[MPa]
modul pružnosti	E	210	[GPa]

Tab. 6: Charakteristiky materiálu ocel S460

7.1.6 Ocel 8.8

parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M2}	1,25	[-]
parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M3}	1,25	[-]
charakteristická mez kluzu	f_{yb}	640	[MPa]
charakteristická mez pevnosti	f_{ub}	800	[MPa]

Tab. 7: Charakteristiky materiálu ocel 8.8

7.1.7 Ocel 4.8

parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M2}	1,25	[-]
parciální součinitel spolehlivosti	γ_{M3}	1,25	[-]
charakteristická mez kluzu	f_{yb}	320	[MPa]
charakteristická mez pevnosti	f_{ub}	400	[MPa]

Tab. 8: Charakteristiky materiálu ocel 8.8

7.2 Zatížení

7.2.1 Zatížení stálé

7.2.1.1 Od vlastní tíhy nosných prvků

Vlastní tíha nosných prvků je generována softwarovým systémem Scia Engineer 2017. Vypočtena je ze zadaných materiálových charakteristik a dimenzí průřezů.

7.2.1.2 Ostatní stálé zatížení

Ostatním stálým zatížením je myšlena tíha podlahy, zábradlí, schodišťových stupňů a tíha střešního pláště.

Na podlahu vyhlídkových plošin a mezipodest byl navržen svařovaný ocelový podlahový rošt NOVING. Ten je reprezentován zatížením $g_k = 0,22 \text{ kN.m}^{-2}$.

Schodišťové stupně byly navrženy ze svařovaného ocelového schodišťového roštu NOVING. Ten je reprezentován zatížením $g_k = 0,16 \text{ kN.m}^{-2}$.

Zábradlí na celé konstrukci bude uvažováno jako liniové zatížení $g_k = 0,4 \text{ kN.m}^{-1}$.

Skladba a hodnota stálého zatížení od vlastní tíhy střešního pláště je následující:

Popis zatížení	gk [kN.m ⁻¹]
Měděné oplechování tl. 0,6mm	0,054
Pojistná hydroizolační fólie	0,008
Záklop z OSB desek P+D tl. 22mm	0,132
Střešní latě	0,050
Obkladové palubky tl. 15mm	0,090
$\Sigma=$	0,334

Tab. 9: Tíha střešního pláště

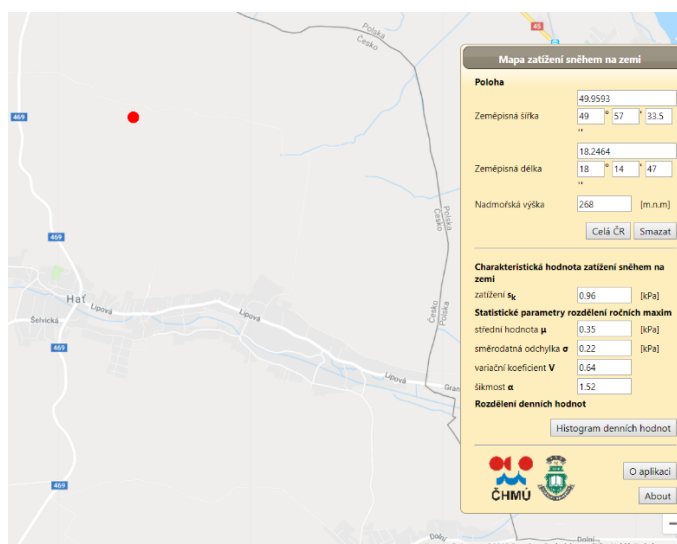
7.2.2 Zatížení proměnné

7.2.2.1 Užité zatížení

Zatížení se týká všech podest a schodiště. Rozhlednu klasifikujeme jako užitnou kategorii C5. Jsou to plochy, kde může dojít k vysoké koncentraci lidí. Hodnota tohoto zatížení je rovna $q_k = 5,0 \text{ kN.m}^{-2}$. Ve výpočetním modelu je toto zatížení modelováno na podesty pomocí zatěžovacího panelu a na schodnice jako liniové zatížení.

7.2.2.2 Zatížení sněhem

Charakteristická hodnota zatížení sněhem byla vyčtena ze sněhové mapy (Obr. 21):



Obr. 21: Sněhová mapa, [11]

Zatížení sněhem na střechu se vypočte ze vztahu:

$$s = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_i , \quad (7.1)$$

kde s_k je charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi, C_e je součinitel expozice, C_t je tepelný součinitel a μ_i je tvarový součinitel zatížení.

Stavba se nachází v normálním typu krajiny (tzv. plochy, kde nedochází na stavbách k výraznému přemístění sněhu větrem kvůli okolnímu terénu, jiným stavbám nebo stromům). Nepředpokládá se tání sněhu vlivem prostupu tepla střechou. Sklon střešní roviny je 25° . Z těchto všech důvodů byly k součinitelům přiřazeny adekvátní hodnoty viz. (Tab.10).

S_k	0,96
C_e	1,0
C_t	1,0
μ_i	0,8

Tab. 10: Výpočetní hodnoty pro zatížení sněhem

Dle normy ze vztahu (7.1) se vypočte zatížení sněhem plným s_{k1} a polovičním s_{k2} .

$$s_{k1} = 0,96 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,768 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$s_{k2} = 0,5 \cdot s_{k1} = 0,384 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

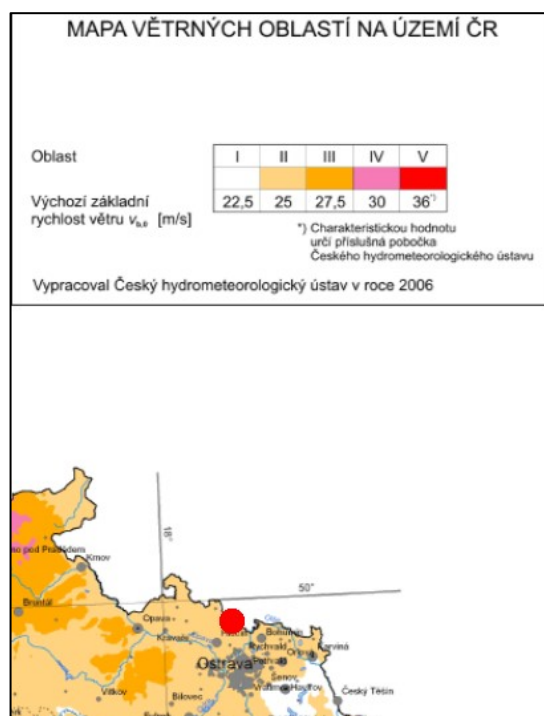
Zatížení sněhem není uvažováno na vyhlídkových plošinách, jelikož užité zatížení plošin je vyšší než zatížení sněhem. Současné působení obou stavů je vyloučené.

7.2.2.3 Zatížení větrem

Základní rychlost větru se vypočte z výrazu:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} v_{b,0} , \quad (7.2)$$

kde, c_{dir} je součinitel směru větru, c_{season} je součinitel ročního období, $v_{b,0}$ je výchozí základní rychlost větru.



Obr. 22: Větrná mapa, [12]

Stavba se nachází ve větrové oblasti II (Obr. 22), z čehož plyne základní rychlost větru $v_{b,0} = 25 \text{ m.s}^{-1}$. Pro součinitele c_{dir} a c_{season} byly stanoveny doporučené hodnoty 1,0. Dle výrazu (7.2) se vypočte základní rychlost větru.

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m.s}^{-1}$$

Střední rychlost větru $v_m(z)$ ve výšce z nad terénem závisí na součiniteli drsnosti terénu $c_r(z)$, součiniteli orografie $c_o(z)$ a základní rychlosti větru v_b . Stanoví se dle následujícího výrazu:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad . \quad (7.3)$$

Součinitel drsnosti terénu $c_r(z)$ se vypočte ze vztahu:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad , \quad (7.4)$$

kde k_r je součinitel terénu viz. vzorec (7.5) a z_0 je parametr drsnosti terénu (stavba spadá do kategorie terénu II, hodnota je tedy rovna $0,05 \text{ m}$ [ČSN EN 1991-1-4, tab. 4.1]). Součinitel terénu, který závisí na uvažovaném parametru drsnosti terénu z_0 a vypočte se podle vztahu:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} \quad , \quad (7.5)$$

kde $z_{0,II}$ je parametr drsnosti terénu pro II. kategorii terénu.

Pro uvažování vzorce (7.4) musí platit podmínka:

$$z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad , \quad (7.6)$$

kde z_{min} je minimální výška (stavba spadá do kategorie terénu II, hodnota je tedy rovna 2 m [ČSN EN 1991-1-4, tab. 4.1]), z_{max} se uvažuje jako 200 m, z je výška rozhledny tedy 22 m. Podmínka tedy platí.

$$2m \leq 22m \leq 200m \quad \text{Vyhovuje}$$

Do vztahu (7.5) můžeme dosadit hodnoty. Hodnoty z_0 a $z_{0,II}$ viz [ČSN EN 1991-1-4, tab. 4.1].

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,190$$

Na izolovaných kopcích, hřebenech nebo srázech a strmých svazích se vyskytují jiné rychlosti větru způsobené orografií. Závislé na sklonu:

$$\Phi = \frac{H}{L_u} \quad , \quad (7.6)$$

kde výška H a délka L_u jsou definované v normě [ČSN EN 1991-1-4, obr. A.2].



Obr. 23: Výškový profil terénu pro součinitel orografie

Dle obrázku (Obr. 23) se vypočítá sklon návětrného svahu Φ .

$$\Phi = \frac{H}{L_u} = \frac{40}{637} = 0,063$$

Součinitel orografie c_o je pak definován z normy [ČSN EN 1991-1-4, tab. A.2] takto:

$$c_o = 1 + 2s \cdot \Phi \quad \text{pro } 0,05 < \Phi < 0,3, \quad (7.7)$$

kde s je součinitel umístění, Φ je sklon návětrného svahu.

Pro podmínku uvedenou ve vzorci (7.7) platí že terén je v pozvolném sklonu, tudíž účinná délka návětrného svahu se rovná skutečné délce návětrného svahu ve směru větru ($L_e = L_u = 637 \text{ m}$).

Součinitel umístění se vypočte podle vzorce:

$$s = A \cdot e^{\left(\frac{B \cdot x}{L_u}\right)}, \quad (7.8)$$

kde x je vodorovná vzdálenost místa staveniště od vrcholu hřebene (pro stavbu rozhledny se $x=0$) a parametr A se vypočte podle vzorce:

$$A = 0,1552 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^4 - 0,8575 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^3 + 1,8133 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right)^2 - 0,9115 \cdot \left(\frac{z}{L_e}\right) + 1,0124 \quad (7.9)$$

Intenzita turbulence větru $I_v(z)$ ve výšce z je definována jako podíl směrodatné odchylky turbulence a střední rychlosti větru. Pro vyhovující podmínku (7.6) je intenzita turbulence dána výrazem:

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)}, \quad (7.7)$$

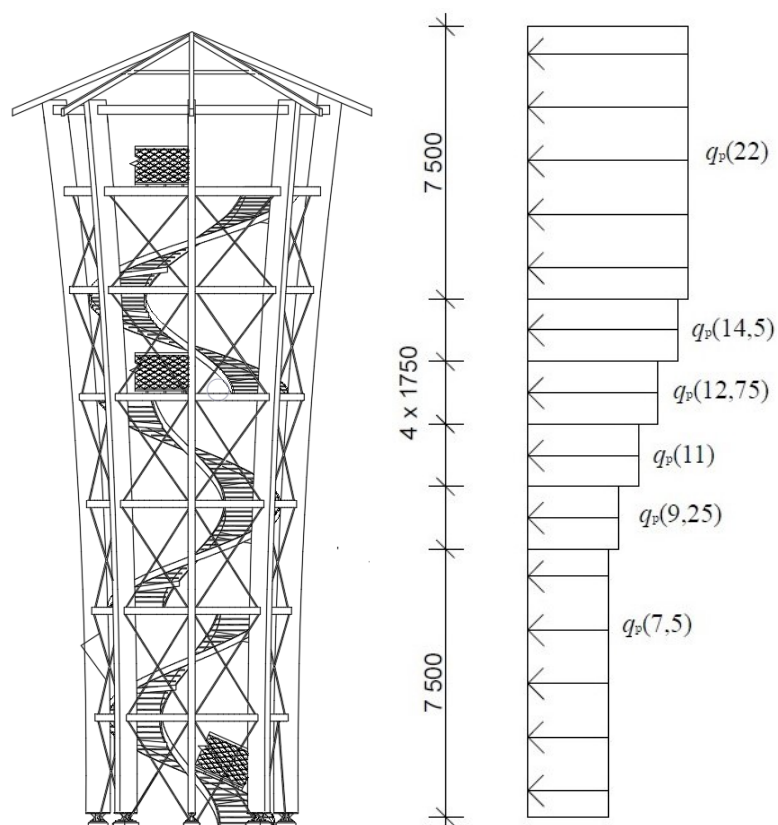
kde k_1 je součinitel turbulence (byla uvažována doporučená hodnota 1,0), c_o součinitel orografie a z_0 parametr drsnosti terénu.

Má být stanoven maximální dynamický tlak $q_p(z)$ ve výšce z , který zahrnuje střední a krátkodobé fluktuace rychlosti větru. Vypočte se z následujícího výrazu:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z), \quad (7.8)$$

kde ρ je měrná hmotnost vzduchu (byla uvažována hodnota $1,25 \text{ kg.m}^3$), $v_m^2(z)$ je střední rychlost větru a $I_v(z)$ je intenzita turbulence větru.

Pro potřeby stanovení zatížení byla konstrukce rozdělena na výšková pásma viz. (obr. 24) z důvodu $h > 2.b$ ($22 \text{ m} > 2 \cdot 7,5 \text{ m}$).



Obr. 24: Rozdělení rozhledny na výšková pásma

V následující tabulce (Tab. 11) bude vypočtena maximální hodnota dynamického tlaku $q_p(z)$ pro jednotlivá výšková pásma.

z [m]	$c_r(z)$ [-]	$c_o(z)$ [-]	$v_m(z)$ [m.s ⁻¹]	$I_v(z)$ [-]	$q_p(z)$ [kN.m ⁻²]
7,5	0,952	1,126	26,806	0,177	1,006
9,25	0,992	1,127	27,946	0,170	1,069
11	1,025	1,128	28,894	0,164	1,122
12,75	1,053	1,129	29,710	0,160	1,169
14,5	1,077	1,130	30,428	0,156	1,211
22	1,156	1,136	32,844	0,145	1,357

Tab. 11: Hodnoty zatížení větrem pro jednotlivá výšková pásma

Síly od větru F_w působící na konstrukci nebo nosný prvek, lze stanovit z výrazu:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} , \quad (7.9)$$

kde $c_s c_d$ je součinitel konstrukce, c_f je součinitel síly, $q_p(z_e)$ je maximální dynamický tlak v referenční výšce, A_{ref} je referenční plocha konstrukce nebo nosného prvku.

Hodnoty součinitele velikosti konstrukce c_s a dynamického součinitele c_d byly zvoleny dle hodnot, které se podobají konstrukci rozhledny z normy [ČSN EN 1991-1-4, příl. D]. Předpokladem jsou základní vlastní frekvence a tvary kmitání, které jsou odvozeny z lineární analýzy nebo odhadnuty použitím výrazů uvedených v [ČSN EN 1991-1-4, příl. F]. Na obrázcích z normy jsou uvedeny obálky bezpečných hodnot pro tyto součinitele. Odvozena byla hodnota $c_s c_d = 1,05$.

Následně byly stanoveny hodnoty součinitele síly c_f pro prvky konstrukce rozhledny dle vzorce:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (7.10)$$

kde $c_{f,0}$ je součinitel síly pro obdélníkové průřezy s ostrými rohy a ψ_λ součinitel koncového efektu pro prvky s volnými konci. Pro určení součinitele síly $c_{f,0}$ musíme stanovit poměr šířek průřezu a následně vyvodit z normy tento součinitel [ČSN EN 1991-1-4, obr. 7.23]. Pro stanovení součinitele koncového efektu ψ_λ musíme určit štíhlost prvku λ [ČSN EN 1991-1-4, tab. 7.16] a součinitel plnosti φ . Z těchto součinitelů zjistíme hodnotu ψ_λ podle obrázku z normy [ČSN EN 1991-1-4, obr. 7.36].

Pro sloupy platí (delší strana):

$$\frac{d}{b} = \frac{350}{200} = 1,75 \Rightarrow c_{f,0} = 1,76$$

$$l = 21\,700\text{mm}; b = 200\text{mm} \Rightarrow \lambda = 70$$

$$\varphi = 1,0 \Rightarrow \psi_\lambda = 0,92$$

z [m]	$c_s c_d$ [-]	c_f [-]	$q_p(z)$ [kN.m ⁻²]	b_{ref} [m]	$w_e(z)$ [kN.m ⁻¹]
7,5	1,050	2,134	1,006	0,350	0,789
9,25	1,050	2,134	1,069	0,350	0,838
11	1,050	2,134	1,122	0,350	0,880
12,75	1,050	2,134	1,169	0,350	0,917
14,5	1,050	2,134	1,211	0,350	0,950
22	1,050	2,134	1,357	0,350	1,064

Tab. 12: Hodnoty zatížení větrem pro sloup (delší strana)

Pro sloupky platí (kratší strana):

$$\frac{d}{b} = \frac{200}{350} = 0,57 \Rightarrow c_{f,0} = 2,32$$

$$l = 21\,700\text{mm}; b = 350\text{mm} \Rightarrow \lambda = 70$$

$$\varphi = 1,0 \Rightarrow \psi_{\lambda} = 0,92$$

z [m]	c _s c _d [-]	c _f [-]	q _p (z) [kN.m ⁻²]	b _{ref} [m]	w _e (z) [kN.m ⁻¹]
7,5	1,050	1,619	1,006	0,200	0,342
9,25	1,050	1,619	1,069	0,200	0,363
11	1,050	1,619	1,122	0,200	0,382
12,75	1,050	1,619	1,169	0,200	0,398
14,5	1,050	1,619	1,211	0,200	0,412
22	1,050	1,619	1,357	0,200	0,461

Tab. 13: Hodnoty zatížení větrem pro sloup (kratší strana)

Ostatní prvky byly počítány jako prostorová příhradová konstrukce. Pro ostatní prvky platí:

$$R_e = \frac{b_i \cdot v(z_e)}{v} = \frac{0,1 \cdot 32,844}{15 \cdot 10^{-6}} = 2,19 \cdot 10^5$$

Kde R_e je Reynoldsovo číslo, b_i je střední průměr prvku a v je kinematická viskozita vzduchu. Reynoldsovo číslo je potřebné ke zjištění součinitele $c_{f,0}$ [ČSN EN 1991-1-4, obr. 7.35].

$$l = 22\,500\text{mm}; b = 5000\text{mm} \Rightarrow \lambda = 9 \Rightarrow \psi_{\lambda} = 0,91$$

$$\varphi = 0,6 \Rightarrow c_{f,0} = 1,90$$

A_{ref} (tab. 13) byla vypočtena ze skutečné plochy A a vynásobena součinitelem plnosti φ (odhad $\varphi = 0,6$). Výsledné síly zatížení byly přepočítáno na jednotlivé sloupky.

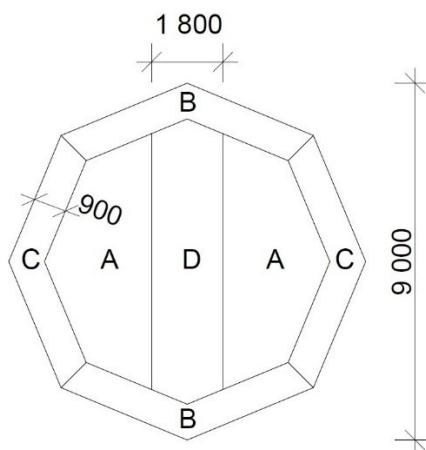
z [m]	c _s c _d [-]	c _f [-]	q _p (z) [kN.m ⁻²]	A _{ref} [m ²]	w _e (z) [kN]
7,5	1,050	1,729	1,006	22,158	5,059
9,25	1,050	1,729	1,069	5,736	1,391
11	1,050	1,729	1,122	6,162	1,569
12,75	1,050	1,729	1,169	6,552	1,738
14,5	1,050	1,729	1,211	6,924	1,903
22	1,050	1,729	1,357	27,450	8,452

Tab. 14: Hodnoty zatížení větrem pro ostatní prvky

Vítr působící na střešní konstrukci byl vypočítán z normy pro sedlové přístřešky [ČSN EN 1991-1-4, 7.3], přičemž jsou uvažovány stavy tlaku a sání. Střecha byla rozdělena na jednotlivé oblasti (Obr. 25). Sklon střešní roviny je 25°. Výsledný tlak větru byl vypočítán podle vzorce (7.11).

$$w_{net} = q_p(z) \cdot c_{p,net} \quad , \quad (7.11)$$

kde $c_{p,net}$ je součinitel výsledného tlaku, který je nutné stanovit z normy [ČSN EN 1991-1-4, tab. 7.7]. Výsledné tlaky větru jsou uvedeny v tabulkách (Tab. 14, Tab. 15).



Obr. 25: Rozdělení střechy na oblasti

Oblast	Sklon	$c_{p,net}$ [-]	$w_e(z)$ [kN.m ⁻²]
A	$\alpha+$	1,2	1,628
	$\alpha-$	1,0	1,357
B	$\alpha+$	1,9	2,578
	$\alpha-$	1,7	2,306
C	$\alpha+$	1,6	2,171
	$\alpha-$	0,5	0,678
D	$\alpha+$	0,5	0,678
	$\alpha-$	2,0	2,714

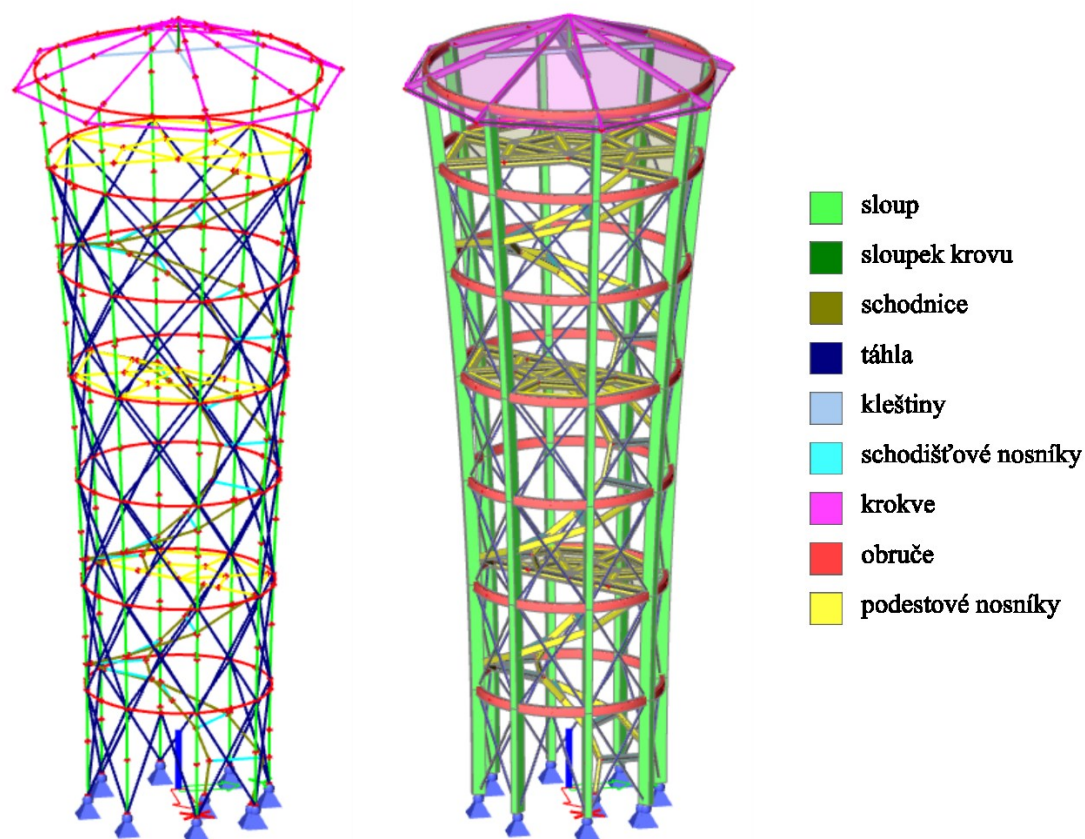
Tab. 15: Zatížení větrem na přístřešek – tlak

Oblast	Sklon	$c_{p,net}$ [-]	$w_e(z)$ [kN.m ⁻²]
A	α^+	-1,4	-1,899
	α^-	-1,0	-1,357
B	α^+	-1,9	-2,578
	α^-	-1,3	-1,764
C	α^+	-1,4	-1,899
	α^-	-1,6	-2,171
D	α^+	-2,0	-2,714
	α^-	-0,6	-0,814

Tab. 16: Zatížení větrem na přístřešek – sání

7.2.3 Výpočetní model

Celá konstrukce byla nakreslena jako prutový model v programu AutoCAD a následně importována do výpočetního programu Scia engineer, jehož výsledkem byly vnitřní síly na prutech. V tomto programu byly k jednotlivým prutům přiděleny konkrétní profily. Podpory konstrukce byly modelovány jako pevné kloubové. Veškerá připojení prvků byla modelována jako kloubová s pootočení kolem své osy y a z. Namodelovány byly kombinace zatížení, které na konstrukci působí. Byl proveden také nelineární výpočet na vypnutí táhel v tlaku.



Obr. 26: Prutový model rozhledny ve Scia engineer

7.2.4 Zatěžovací stavy

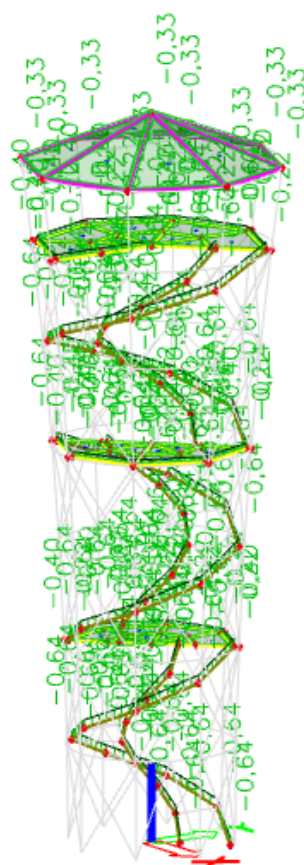
Do výpočetního programu Scia engineer bylo zadáno celkem 24 různých zatěžovacích stavů. Přehled všech stavů včetně typu a doby působení a skupiny zatížení jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 17). Typ skupiny zatížení ovlivňuje, jak se budou jednotlivé zatěžovací stavy mezi sebou kombinovat (určují, které stavy mohou spolu působit). Skupiny zatížení jsou uvedeny v tabulce níže (Tab. 18). Typ skupiny výběrová znamená, že žádné dva zatěžovací stavy v této skupině nemohou působit společně. Naopak typ skupiny standard určuje, že všechny stavy v této skupině spolu mohou působit společně.

Zatěžovací stav	Popis	Typ působení	Doba působení	Skupina zatížení
ZS1	Vlastní tíha	Stálé	-	SZ1
ZS2	Stálé - sch.stupně,zábradlí,podlahy,zastřešení	Stálé	-	SZ1
ZS3_1	Užitné plošina - šach1	Proměnné	Krátkodobé	SZ2 - užitné
ZS3_2	Užitné plošina - šach2	Proměnné	Krátkodobé	SZ2 - užitné
ZS3_3	Užitné plošina - šach3	Proměnné	Krátkodobé	SZ2 - užitné
ZS3_4	Užitné plošina - šach4	Proměnné	Krátkodobé	SZ2 - užitné
ZS3_5	Užitné plošina - šach5	Proměnné	Krátkodobé	SZ2 - užitné
ZS3_6	Užitné plošina - šach6	Proměnné	Krátkodobé	SZ2 - užitné
ZS4_1	Užitné schodiště - šach1	Proměnné	Krátkodobé	SZ3 - užitné
ZS4_2	Užitné schodiště - šach2	Proměnné	Krátkodobé	SZ3 - užitné
ZS4_3	Užitné schodiště - šach3	Proměnné	Krátkodobé	SZ3 - užitné
ZS4_4	Užitné schodiště - šach4	Proměnné	Krátkodobé	SZ3 - užitné
ZS4_5	Užitné schodiště - šach5	Proměnné	Krátkodobé	SZ3 - užitné
ZS5_1	Sníh plný	Proměnné	Střednědobé	SZ4 - sníh
ZS5_2	Sníh poloviční směr X	Proměnné	Střednědobé	SZ4 - sníh
ZS5_3	Sníh poloviční směr Y	Proměnné	Střednědobé	SZ4 - sníh
ZS6_1	Vítr směr X tlak	Proměnné	Krátkodobé	SZ5 - vítr
ZS6_2	Vítr směr Y tlak	Proměnné	Krátkodobé	SZ5 - vítr
ZS6_3	Vítr směr X- tlak	Proměnné	Krátkodobé	SZ5 - vítr
ZS6_4	Vítr směr Y- tlak	Proměnné	Krátkodobé	SZ5 - vítr
ZS6_5	Vítr směr X sání	Proměnné	Krátkodobé	SZ5 - vítr
ZS6_6	Vítr směr Y sání	Proměnné	Krátkodobé	SZ5 - vítr
ZS6_7	Vítr směr X- sání	Proměnné	Krátkodobé	SZ5 - vítr
ZS6_8	Vítr směr X- sání	Proměnné	Krátkodobé	SZ5 - vítr

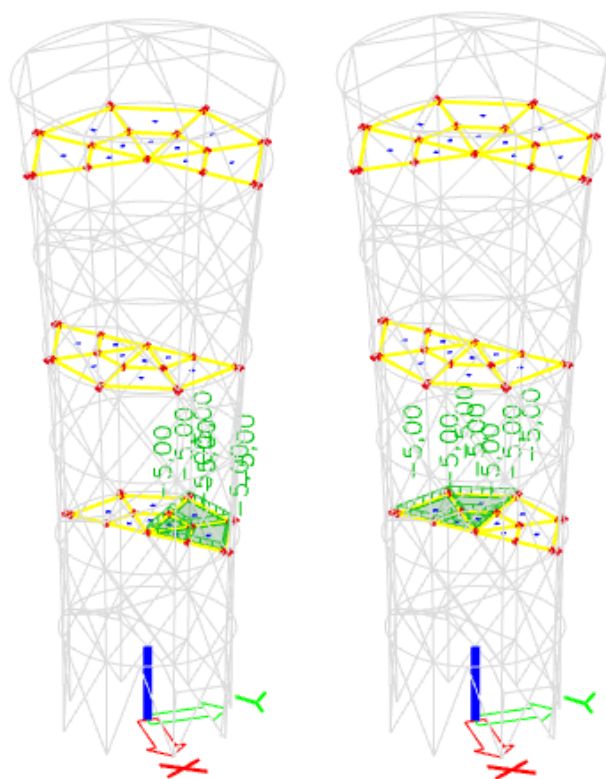
Tab. 17: Zatěžovací stavy

Název	Typ zatížení	Vztah zatížení
SZ1	-	
SZ2	Kat C : shromáždění	standard
SZ3	Kat C : shromáždění	výběrová
SZ4	Sníh	výběrová
SZ5	Vítr	výběrová

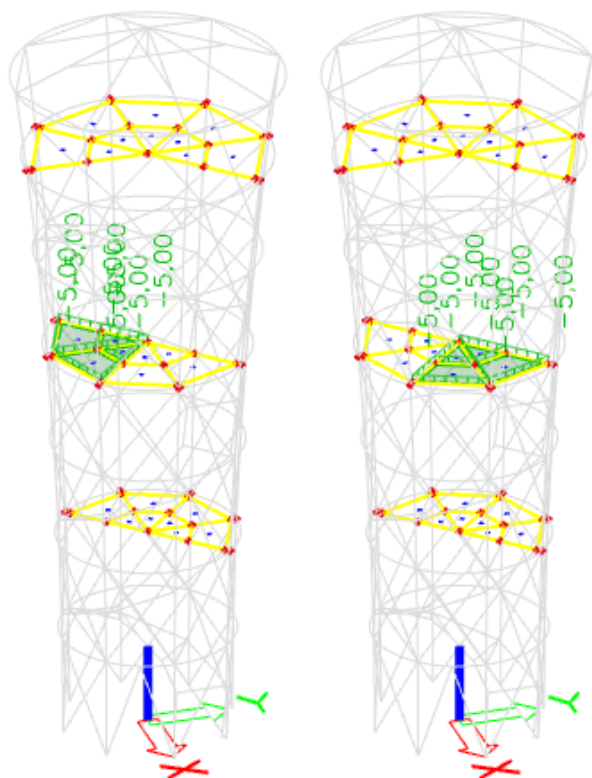
Tab. 18: Skupiny zatížení



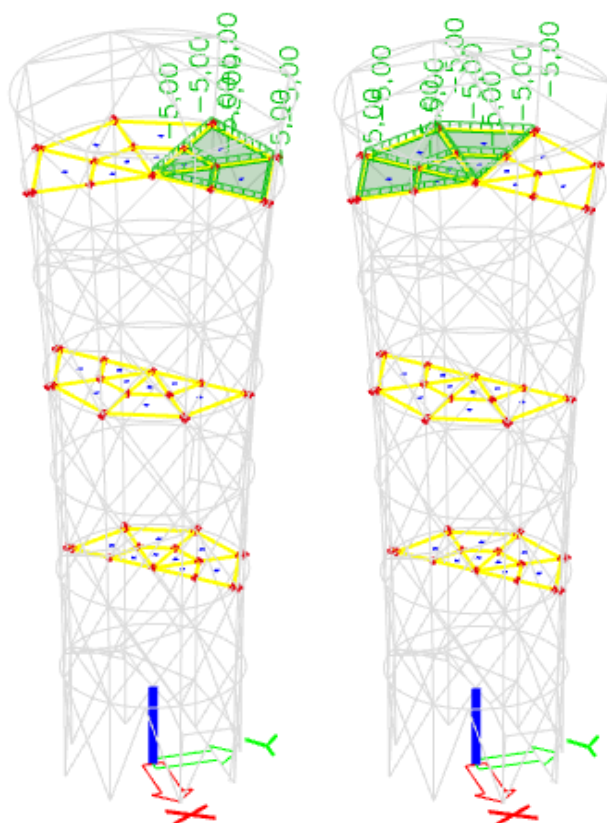
Obr. 27: ZS2 Stálé



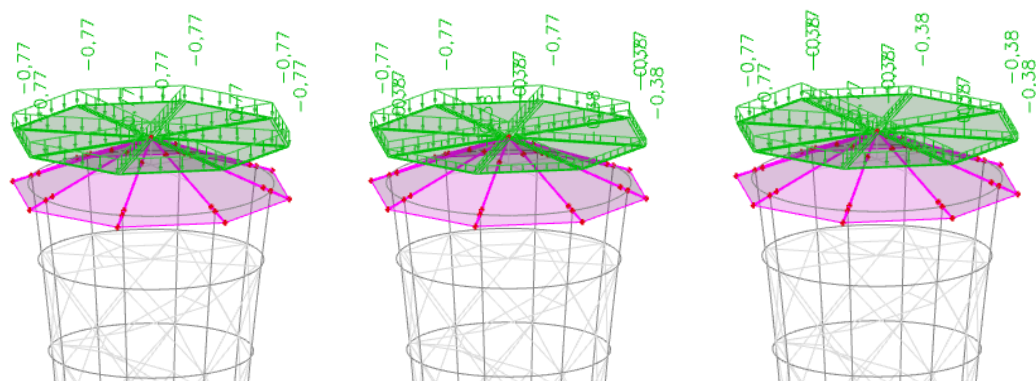
Obr. 28: ZS3_1 plošina šach 1 a ZS3_2 plošina šach 2



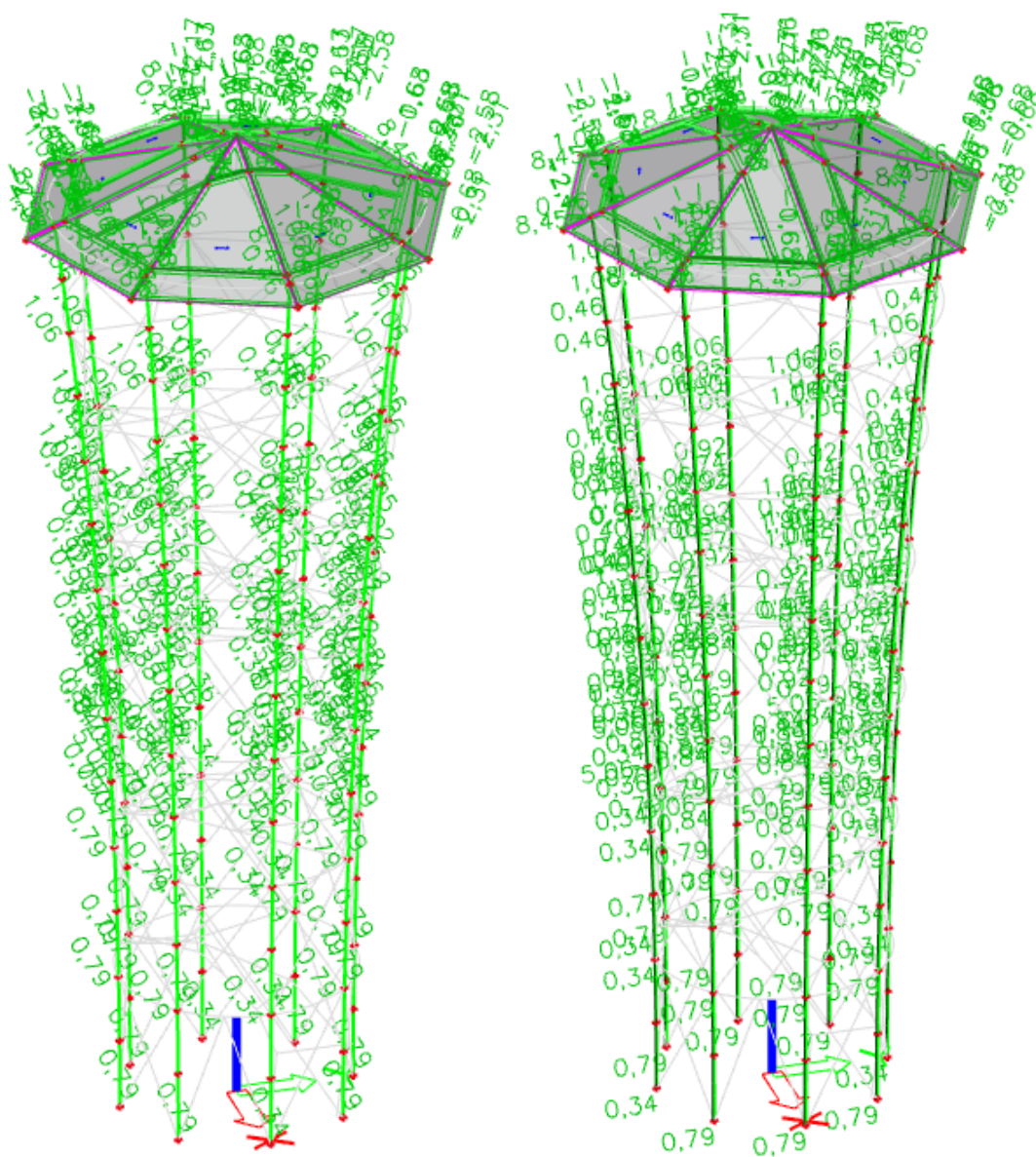
Obr. 29: ZS3_3 plošina šach 3 a ZS3_4 plošina šach 4



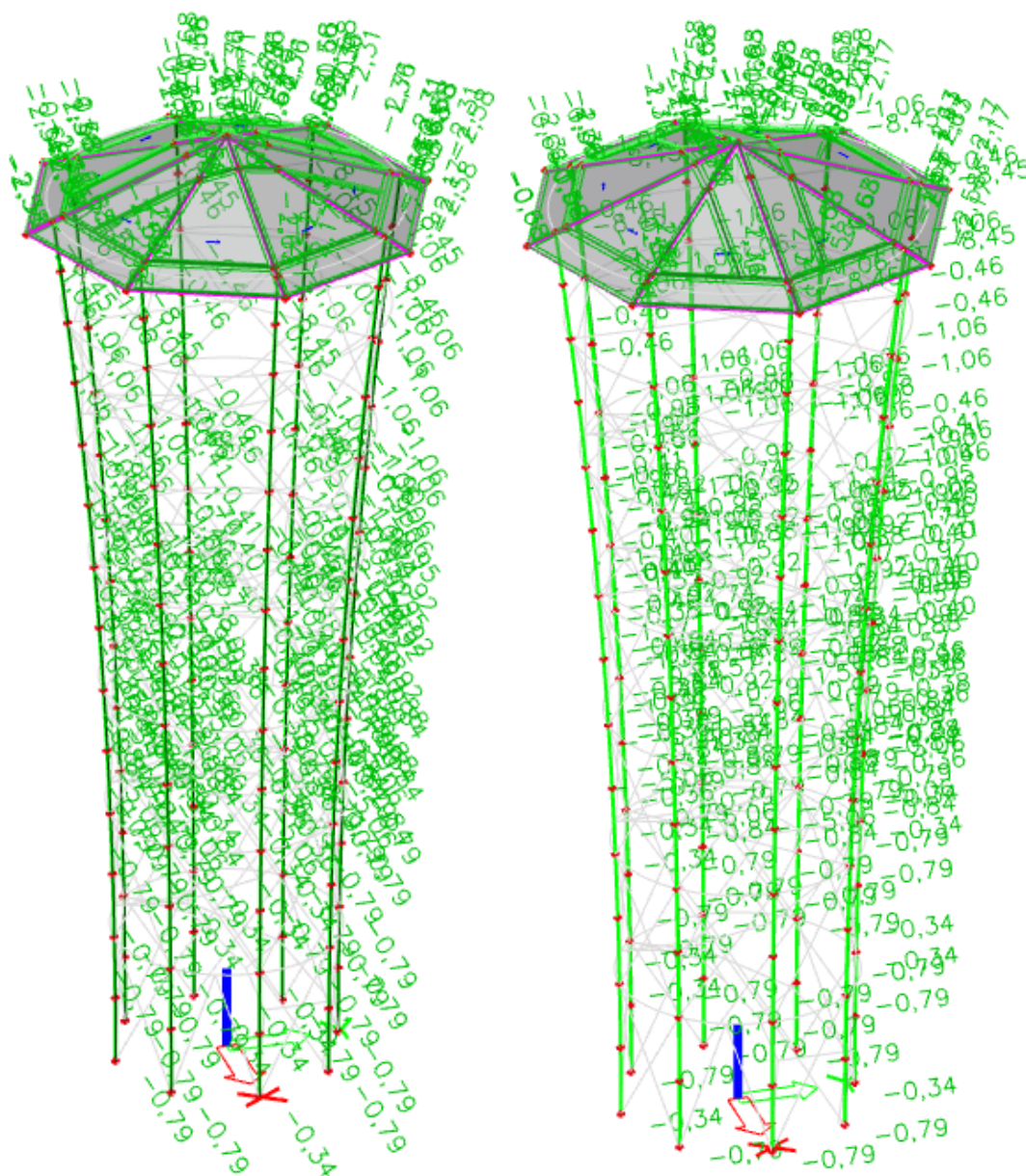
Obr. 30: ZS3_5 plošina šach 5 a ZS3_6 plošina šach 6



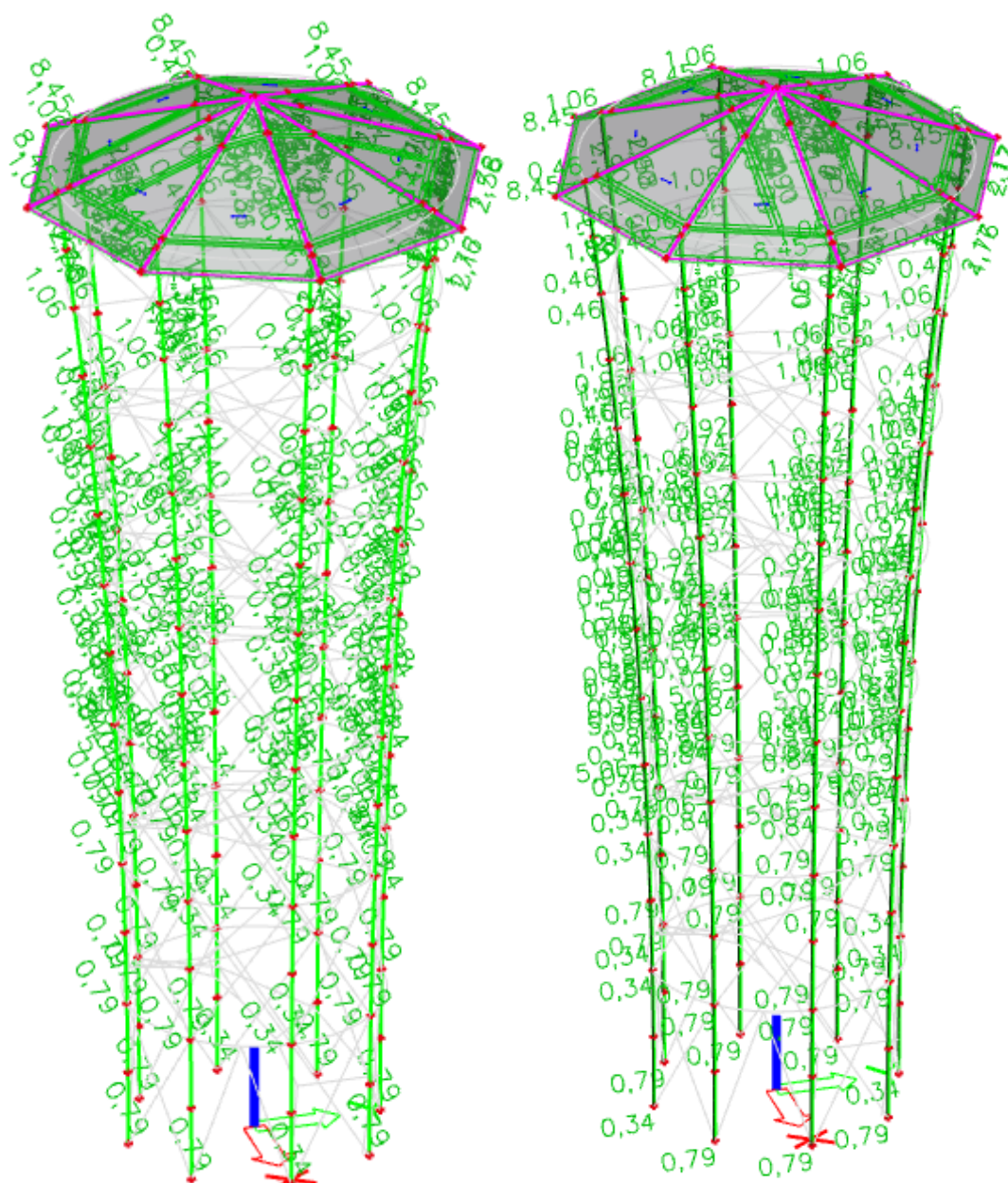
Obr. 33: ZS5_1 sníh plný, ZS5_2 sníh poloviční X, ZS5_3 sníh poloviční Y



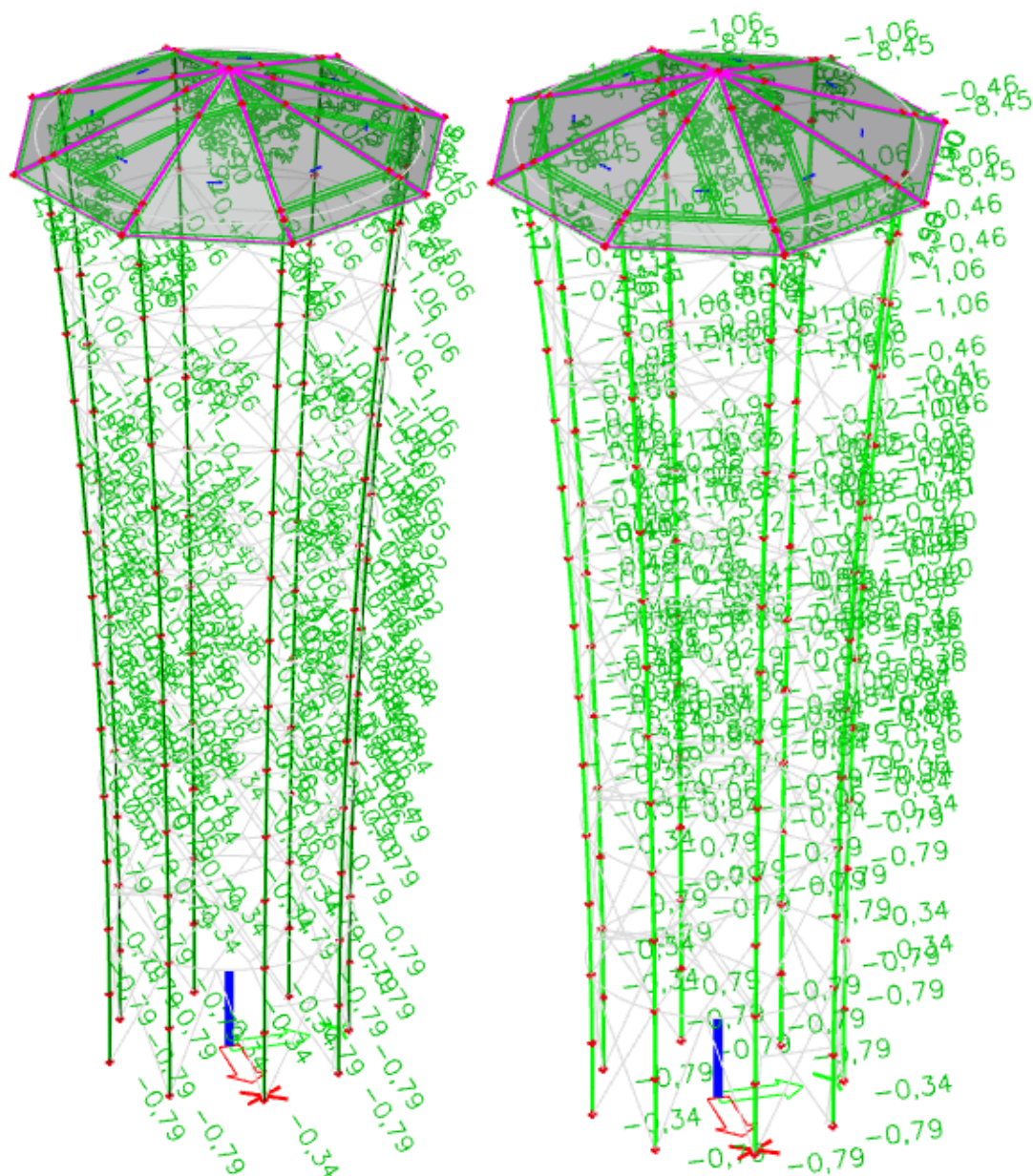
Obr. 34: ZS6_1 vítr X tlak a ZS6_2 vítr Y tlak



Obr. 35: ZS6_3 vîtr X- tlak a ZS6_4 vîtr Y- tlak



Obr. 36: ZS6_5 vítr X sání a ZS6_6 vítr Y sání



Obr. 37: ZS6_7 vítr X- sání a ZS6_8 vítr Y- sání

7.2.5 Kombinace zatěžovacích stavů

Kombinace byly ze zatěžovacích stavů generovány automaticky v softwarovém systému Scia engineer.

7.2.5.1 MSÚ

Jsou vygenerovány kombinace za použití typu EN-MSÚ (STR/GEO) soubor B. Zatěžovací stavy se kombinují podle méně příznivé kombinace z následujících dvou výrazů z normy 6.10a (7.12) a 6.10b (7.13):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (7.12)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad . \quad (7.13)$$

Dále jsou z výpočtu uvedeny součinitele zatížení (pro stálá zatížení příznivá a nepříznivá, hlavní a doprovodné proměnné zatížení a redukční součinitel):

$$\gamma_{Gj,sup} = 1,35$$

$$\gamma_{Gj,inf} = 1,00$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,5$$

$$\xi = 1,35$$

Dále kombinační součinitele ψ :

$$\psi_{0,1} = 0,7 \text{ - pro užitná zatížení}$$

$$\psi_{0,1} = 0,5 \text{ - pro zatížení sněhem}$$

$$\psi_{0,1} = 0,6 \text{ - pro zatížení větrem}$$

V tabulce (Tab. 18) je znázorněn klíč kombinací.

7.2.5.2 MSP

Jsou vygenerovány kombinace za použití typu EN-MSP Charakteristická. Zatěžovací stavy se kombinují podle charakteristické kombinace z následujícího výrazu z normy 6.14b (7.14):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad . \quad (7.14)$$

Kombinační součinitele ψ jsou stejné jako v případě mezního stavu únosnosti.

7.2.5.3 Klíč kombinací

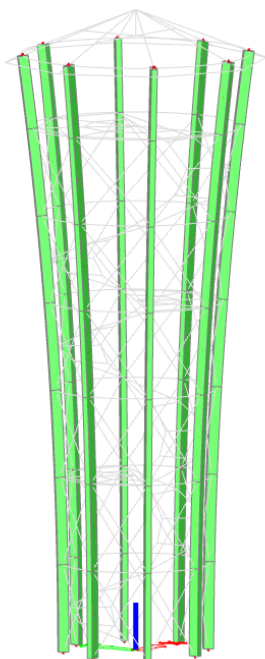
ZS / Komb	ZS1	ZS2	ZS3 _1	ZS3 _2	ZS3 _3	ZS3 _4	ZS3 _5	ZS3 _6	ZS4 _1	ZS4 _2	ZS4 _3	ZS4 _5
NC1	1,15	1,15	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	-	-	-
NC2	1,00	1,00	-	-	1,05	-	-	-	-	-	-	-
NC3	1,15	1,15	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	-	-	-
NC4	1,15	1,15	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	-	-	-	1,05	-
NC5	1,00	1,00					1,05		-	-	-	-
NC6	1,15	1,15			1,05	1,05		1,05	-	-	-	-
NC7	1,00	1,00	1,05	1,05			1,05		-	-		-
NC8	1,15	1,15			1,05	1,05		1,05	-	-	1,05	-
NC9	1,15	1,15		1,05		1,05			-	-		-
NC10	1,15	1,15	1,05		1,05		1,05	1,05	-	-		-
NC11	1,00	1,00							-	-	1,05	-
NC12	1,15	1,15	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	-	1,05		-
NC13	1,15	1,15	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	-		1,05	-
NC14	1,15	1,15	1,05	1,05	1,05	1,05			-			1,50
ZS / Komb	ZS5 _1	ZS5 _2	ZS5 _3	ZS6 _2	ZS6 _3	ZS6 _4	ZS6 _5					
NC1	0,75	-	-	1,50	-	-	-					
NC2	-	-	-	-	-	1,50	-					
NC3	0,75	-	-	-	-	-	1,50					
NC4	0,75	-			1,50	-						
NC5	0,75	-			1,50	-						
NC6	-	-	0,75			1,50						
NC7		-		1,50								
NC8	1,50	-			0,90							
NC9	1,50	-				0,90						
NC10	1,05	-			0,90							
NC11		-					1,50					
NC12		0,75			1,50							
NC13	0,75						1,50					
NC14						0,90						

Tab. 19: Klíč kombinací MSÚ

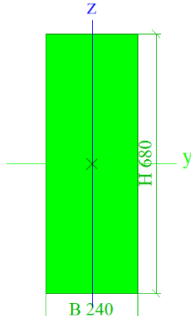
Výpočet vnitřních sil byl proveden pomocí nelineárních kombinací (Tab. 18). Byly vybrány nejnejpříznivější kombinace z 221 188 lineárních kombinací. Navíc byly přidány kombinace, o kterých je možno si myslet, že by mohly v konečném důsledku rozhodovat.

7.3 MSÚ – Posouzení vybraných prvků

7.3.1 Sloup



Obr. 38: Sloupy znázornění

Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	0,16320	m ²	
I _y	0,00629	m ⁴	
I _z	0,00078	m ⁴	
W _{ely}	0,01850	m ³	
W _{elz}	0,00653	m ³	
I _t	0,00243	m ⁴	

Tab. 20: Průřezové charakteristiky sloupu

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace
N _{Ed} +	419,49 [kN]	NC11
N _{Ed} -	-654,58 [kN]	NC6
M _{Ed,y}	-101,06 [kN.m]	NC6
M _{Ed,z}	21,09 [kN.m]	NC7
V _{Ed,z}	-61,71 [kN]	NC1

Tab. 21: Vnitřní síly – sloup

Posouzení na ohyb:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{101,06 \cdot 10^6}{1,850 \cdot 10^7} = 5,46 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,Ed}}{W_z} = \frac{21,09 \cdot 10^6}{6,528 \cdot 10^6} = 3,23 \text{ MPa}$$

$k_m = 0,7 \Rightarrow$ součinitel zohledňující redistribuci napětí a vliv nehomogenit v průřezu, pro LLD obdélníkového průřezu se uvažuje hodnota 0,7

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{5,46}{13,44} + 0,7 \cdot \frac{3,23}{13,44} = 0,57 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,7 \cdot \frac{5,46}{13,44} + \frac{3,23}{13,44} = 0,52 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na tlak:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{654,58 \cdot 10^3}{240 \cdot 680} = 4,01 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{4,01}{13,44} = 0,30 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na smyk:

$k_{cr} = 0,67 \Rightarrow$ pro ověření smykové únosnosti prvků v ohybu se má uvážit vliv trhlin použitím účinné šířky prvku b_{eff} , doporučená hodnota součinitele k_{cr} je pro LLD 0,67

$$b_{eff} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 240 = 160,8 \text{ mm}$$

$$\tau_{z,d} = \frac{3 \cdot V_{z,Ed}}{2 \cdot A} = \frac{3 \cdot 61,71 \cdot 10^3}{2 \cdot 160,8 \cdot 680} = 0,85 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} = \frac{0,85}{1,51} = 0,56 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci vzpěrného tlaku a ohybu:

$$L_{cr,z} = 3018 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = 12011 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 12,011 \cdot \sqrt{\frac{0,24 \cdot 0,68}{6,289 \cdot 10^{-3}}} = 61,19$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 3,018 \cdot \sqrt{\frac{0,24 \cdot 0,68}{7,834 \cdot 10^{-4}}} = 43,56$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{61,19}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9400}} = 0,98$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{43,56}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9400}} = 0,70$$

$\beta_c = 0,1 \Rightarrow$ je součinitel pro prvky, pro LLD se uvažuje hodnota 0,1

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (0,98 - 0,3) + 0,98^2] = 1,02$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (0,70 - 0,3) + 0,70^2] = 0,77$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,02 + \sqrt{1,02^2 - 0,98^2}} = 0,78$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,77 + \sqrt{0,77^2 - 0,70^2}} = 0,93$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{4,01}{0,78 \cdot 13,44} + \frac{5,46}{13,44} + 0,7 \cdot \frac{3,23}{13,44} = 0,95 < 1$$

\Rightarrow **VYHOVÍ**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{4,01}{0,78 \cdot 13,44} + 0,7 \cdot \frac{5,46}{13,44} + \frac{3,23}{13,44} = 0,84 < 1$$

\Rightarrow **VYHOVÍ**

Posouzení na klopení:

Účinná délka l_{eff} je uvažována podle normy [ČSN EN 1995-1-1, tab. 6.1].

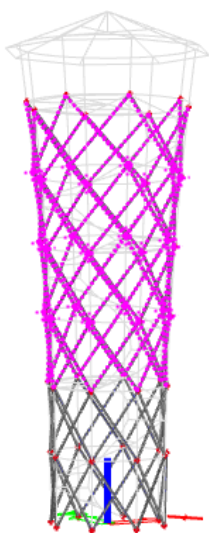
$$l_{eff} = 0,9 \cdot l + 0,2 \cdot h = 0,9 \cdot 12011 + 0,2 \cdot 680 = 10945,9 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_t}}{l_{eff} \cdot W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{9400 \cdot 7,834 \cdot 10^8 \cdot 590 \cdot 2,432 \cdot 10^9}}{10945,9 \cdot 1,85 \cdot 10^7} =$$

$$= 50,44 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{50,44}} = 0,69$$

$k_{crit} = 1 \Rightarrow$ součinitel, který bere v úvahu redukovanou pevnost v ohybu v důsledku klopení, pro $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$ [ČSN EN 1995-1-1, vztah 6.34]



$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{5,46}{1,0 \cdot 13,44} = 0,41 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$


$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \left(\frac{5,46}{1,0 \cdot 13,44} \right)^2 + \frac{4,01}{0,94 \cdot 13,44} = 0,49 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na osový tah:

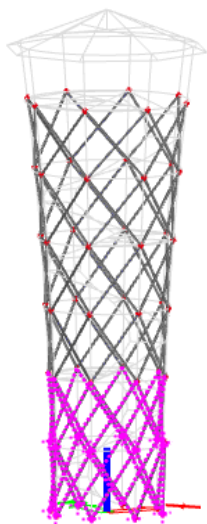
$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{419,49 \cdot 10^3}{240 \cdot 680} = 2,57 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{2,57}{9,24} = 0,28 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

7.3.2 Táhlo

Průřezové charakteristiky			 Ø 30 mm
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	0,000707	m ²	

Tab. 22: Průřezové charakteristiky – spodní táhla



Vnitřní síly		Rozhodující kombinace
N _{Ed} +	266,23 [kN]	NC6

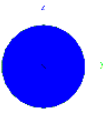
Tab. 23: Vnitřní síly – táhlo spodní

Obr. 39: Spodní táhla – znázornění

Posouzení na tah:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{706,86 \cdot 460}{1,0} = 325,15 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{pL,Rd}}{N_{Ed}} = \frac{325,15}{266,23} = 0,82 < 1 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	0,000452	m ²	

Tab. 24: Průřezové charakteristiky – horní táhla

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace
N _{Ed} +	156,57 [kN]	NC1

Tab. 25: Vnitřní síly – táhlo horní

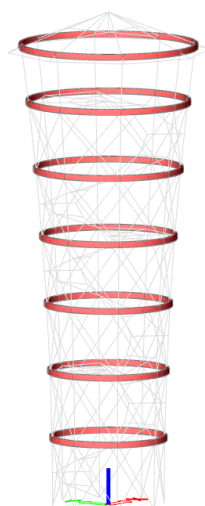
Obr. 40: Horní táhla – znázornění

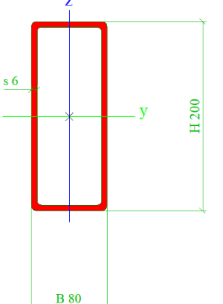
Posouzení na tah:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{452,39 \cdot 460}{1,0} = 208,10 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,Rd}}{N_{Ed}} = \frac{208,10}{156,57} = 0,75 < 1 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

7.3.3 Vodorovné ztužení



Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	0,00336920	m ²	
I _y	0,00001634	m ⁴	
I _z	0,00000374	m ⁴	
W _{ply}	0,00028011	m ³	
W _{plz}	0,00010703	m ³	
I _t	0,00000965	m ⁴	

Tab. 26: Průřezové charakteristiky – vodorovné ztužení

Obr. 41: Vodorovné ztužení – znázornění

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace
N _{Ed} +	42,26 [kN]	NC6
N _{Ed} -	-145,21 [kN]	NC7

$M_{Ed,z}$	29,28 [kN.m]	NC7
$V_{Ed,z}$	-56,14 [kN]	NC1

Tab. 27: Vnitřní síly – vodorovné ztužení

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Ohýbaná část:

$$\frac{c}{t} = \frac{200 - 2 \cdot 6,3}{6} = 29,75 < 72\varepsilon = 58,32 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Tlačená část:

$$\frac{c}{t} = \frac{200 - 2 \cdot 6,3}{6} = 29,75 < 38\varepsilon = 30,78 \Rightarrow \text{tř. průřezu 2}$$

Posouzení na tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{3,369 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 1196,07 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{145,21}{1196,07} = 0,12 < 1 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení na ohyb:

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,070 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 38,00 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{29,28}{38,00} = 0,77 < 1 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení na smyk:

$$A_v = \frac{(A \cdot b)}{b + h} = \frac{3,369 \cdot 10^{-3} \cdot 0,08}{0,08 + 0,2} = 9,63 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{9,63 \cdot 10^{-4} \cdot (355 \cdot 10^3 / \sqrt{3})}{1,0} = 197,30 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{56,14}{197,30} = 0,28 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci smyku, ohybu a osových sil:

$V_{Ed} = 56,14 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 197,30 = 98,65 \text{ kN} \Rightarrow$ můžeme zanedbat vliv smyku

$$a_f = \frac{A - 2 \cdot h \cdot t}{A} = \frac{3,369 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 0,2 \cdot 0,0063}{3,369 \cdot 10^{-3}} = 0,25$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}}{1 - 0,5 \cdot a_f} = 38,00 \cdot \frac{1 - \frac{145,21}{1081,74}}{1 - 0,5 \cdot 0,25} = 37,64 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,z,Rd}} = \frac{29,28}{37,64} = 0,78 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na rovinný vzpěr:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2057 \text{ mm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 1,63 \cdot 10^{-5}}{2,057^2} = 8004,90 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = 3,018 \cdot \sqrt{\frac{3,369 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{8004,90}} = 0,39$$

$\alpha = 0,49 \Rightarrow$ jedná se o dutý průřez tvarovaný za studena, uvažuje se křivka vzpěrnosti c se součinitelem imperfekce 0,49

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,39 - 0,2) + 0,39^2] = 0,62$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,62 + \sqrt{0,62^2 - 0,39^2}} = 0,90$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,90 \cdot 3,369 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 1081,74 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{145,21}{1081,74} = 0,13 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci ohybu a tlaku:

$$C_{m,z} = 0,9$$

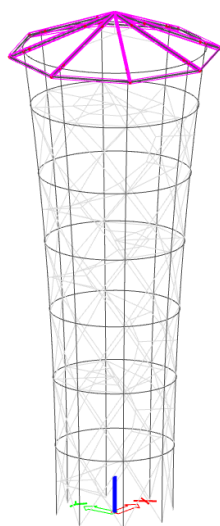
$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,92$$

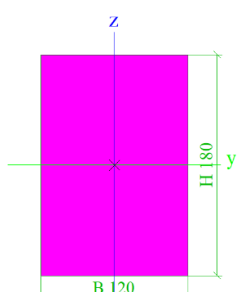
$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,55$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{145,21}{\frac{0,90 \cdot 1196,07}{1,0}} + 0 + 0,55 \cdot \frac{29,28}{\frac{38,00}{1,0}} = 0,56 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{145,21}{\frac{0,90 \cdot 1196,07}{1,0}} + 0 + 0,92 \cdot \frac{29,28}{\frac{38,00}{1,0}} = 0,71 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

7.3.4 Krokev



Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	0,0216000	m ²	
I _y	0,0000583	m ⁴	
I _z	0,0000259	m ⁴	
W _{ely}	0,0006480	m ³	
W _{elz}	0,0004320	m ³	
I _t	0,0000608	m ⁴	

Tab. 28: Průřezové charakteristiky – krokev

Obr. 42: Krokve – znázornění

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace
N _{Ed} +	6,77 [kN]	NC6

N_{Ed}	-18,71 [kN]	NC9
$M_{Ed,y}$	5,30 [kN.m]	NC9
$M_{Ed,z}$	0,09 [kN.m]	NC12
$V_{Ed,z}$	-6,47 [kN]	NC9

Tab. 29: Vnitřní síly – krokve

Posouzení na ohyb:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{5,30 \cdot 10^6}{6,48 \cdot 10^5} = 8,18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,Ed}}{W_z} = \frac{0,09 \cdot 10^6}{4,32 \cdot 10^5} = 0,21 \text{ MPa}$$

$k_m = 0,7 \Rightarrow$ součinitel zohledňující redistribuci napětí a vliv nehomogenit v průřezu, pro LLD obdélníkového průřezu se uvažuje hodnota 0,7

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{8,18}{13,44} + 0,7 \cdot \frac{0,21}{13,44} = 0,62 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,7 \cdot \frac{8,18}{13,44} + \frac{0,21}{13,44} = 0,44 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na tlak:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{18,71 \cdot 10^3}{120 \cdot 180} = 0,87 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{0,87}{13,44} = 0,07 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na smyk:

$k_{cr} = 0,67 \Rightarrow$ pro ověření smykové únosnosti prvků v ohybu se má uvážit vliv trhlin použitím účinné šířky prvku b_{eff} , doporučená hodnota součinitele k_{cr} je pro LLD 0,67

$$b_{eff} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 120 = 80,4 \text{ mm}$$

$$\tau_{z,d} = \frac{3 \cdot V_{z,Ed}}{2 \cdot A} = \frac{3 \cdot 6,47 \cdot 10^3}{2 \cdot 80,4 \cdot 180} = 0,67 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} = \frac{0,67}{1,51} = 0,44 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci vzpěrného tlaku a ohybu:

$$L_{cr} = L_{cr,y} = L_{cr,z} = 4175 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 4,175 \cdot \sqrt{\frac{0,12 \cdot 0,18}{5,832 \cdot 10^{-5}}} = 80,35$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 4,175 \cdot \sqrt{\frac{0,12 \cdot 0,18}{2,592 \cdot 10^{-5}}} = 120,52$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{80,35}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9400}} = 1,29$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{120,52}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9400}} = 1,94$$

$\beta_c = 0,1 \Rightarrow$ je součinitel pro prvky, pro LLD se uvažuje hodnota 0,1

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,29 - 0,3) + 1,29^2] = 1,38$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,94 - 0,3) + 1,94^2] = 2,46$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,38 + \sqrt{1,38^2 - 1,29^2}} = 0,53$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{2,46 + \sqrt{2,46^2 - 1,94^2}} = 0,25$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,87}{0,53 \cdot 13,44} + \frac{8,18}{13,44} + 0,7 \cdot \frac{0,21}{13,44} = 0,74 < 1$$

$\Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,87}{0,25 \cdot 13,44} + 0,7 \cdot \frac{8,18}{13,44} + \frac{0,21}{13,44} = 0,70 < 1$$

\Rightarrow **VYHOVÍ**

Posouzení na klopení:

Účinná délka l_{eff} je uvažována podle normy [ČSN EN 1995-1-1, tab. 6.1].

$$l_{eff} = 0,9 \cdot l + 0,2 \cdot h = 0,9 \cdot 4175 + 0,2 \cdot 180 = 3793,5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_t}}{l_{eff} \cdot W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{9400 \cdot 2,592 \cdot 10^7 \cdot 590 \cdot 6,080 \cdot 10^7}}{3793,5 \cdot 6,48 \cdot 10^5} =$$

$$= 119,47 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{119,47}} = 0,45$$

$k_{crit} = 1 \Rightarrow$ součinitel, který bere v úvahu redukovanou pevnost v ohybu v důsledku klopení, pro $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$ [ČSN EN 1995-1-1, vztah 6.34]

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{8,18}{1,0 \cdot 13,44} = 0,61 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

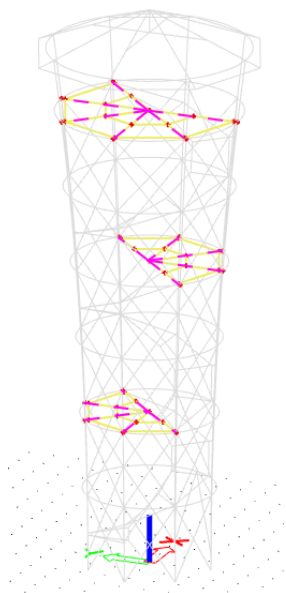
$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \left(\frac{8,18}{1,0 \cdot 13,44} \right)^2 + \frac{0,87}{0,25 \cdot 13,44} = 0,63 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na osový tah:

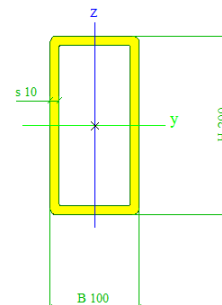
$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{6,77 \cdot 10^3}{120 \cdot 180} = 0,31 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{0,31}{9,24} = 0,03 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

7.3.5 Nosník plošiny - hlavní



Průřezové charakteristiky		
Veličina	Hodnota	Jednotka
A	0,0055642	m ²
I _y	0,0000274	m ⁴
I _z	0,0000089	m ⁴
W _{ply}	0,0003484	m ³
W _{plz}	0,0002102	m ³
I _t	0,0000211	m ⁴



Tab. 30: Průřezové charakteristiky - hl. nosník plošiny

Obr. 43: Hl. nosník plošiny – znázornění

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace
N _{Ed} +	24,83 [kN]	NC12
N _{Ed} -	-102,33 [kN]	NC6
M _{Ed,y}	47,76 [kN.m]	NC13
M _{Ed,z}	-13,81 [kN.m]	NC3
V _{Ed,y}	-66,32 [kN]	NC12

Tab. 31: Vnitřní síly - hl. nosník plošiny

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Ohýbaná část:

$$\frac{c}{t} = \frac{200 - 2 \cdot 10}{10} = 18,00 < 72\varepsilon = 58,32 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Tlačená část:

$$\frac{c}{t} = \frac{200 - 2 \cdot 10}{10} = 18,00 < 33\varepsilon = 26,73 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Posouzení na tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{5,564 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 1975,29 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{102,33}{1146,01} = 0,05 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na ohyb:

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{3,484 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 123,69 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{47,76}{123,69} = 0,39 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{plz} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{2,102 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 74,63 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{13,81}{74,63} = 0,19 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na smyk:

$$A_v = \frac{(A \cdot b)}{b + h} = \frac{5,564 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1}{0,1 + 0,2} = 1,85 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,85 \cdot 10^{-3} \cdot (355 \cdot 10^3 / \sqrt{3})}{1,0} = 380,14 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{66,32}{380,14} = 0,17 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na rovinný vzpěr:

$$L_{cr,y} = 5954 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 2977 \text{ mm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 2,74 \cdot 10^{-5}}{5,954^2} = 1603,83 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{5,564 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1603,83}} = 1,11$$

$\alpha = 0,49 \Rightarrow$ jedná se o dutý průřez tvarovaný za studena, uvažuje se křivka vzpěrnosti c
se součinitelem imperfekce 0,49

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,11 - 0,2) + 1,11^2] = 1,34$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,34 + \sqrt{1,34^2 - 1,11^2}} = 0,48$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,48 \cdot 5,564 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 946,31 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{102,33}{946,31} = 0,11 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci ohybu a tlaku:

$$C_{m,z} = 0,87$$

$$C_{m,y} = 0,9$$

$$C_{m,LT} = 0,97$$

$$k_{yy} = 1,52$$

$$k_{yz} = 0,53$$

$$k_{zz} = 0,89$$

$$k_{zy} = 0,91$$

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,rk}} &= \\ &= \frac{102,33}{0,48 \cdot \frac{1975,29}{1,0}} + 1,52 \cdot \frac{47,76}{1,0 \cdot \frac{123,69}{1,0}} + 0,53 \cdot \frac{13,81}{\frac{74,63}{1,0}} = 0,79 < 1 \end{aligned}$$

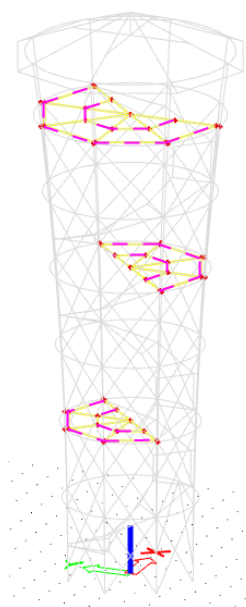
$\Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} =$$

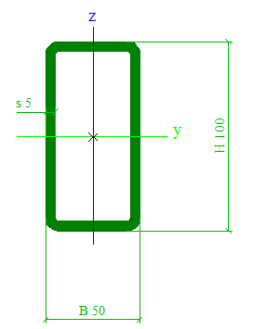
$$= \frac{102,33}{\frac{0,56 \cdot 1975,29}{1,0}} + 0,91 \cdot \frac{47,76}{\frac{1,0 \cdot 123,69}{1,0}} + 0,89 \cdot \frac{13,81}{\frac{74,63}{1,0}} = 0,61 < 1$$

\Rightarrow **VYHOVÍ**

7.3.6 Nosník plošiny - vedlejší



Průřezové charakteristiky		
Veličina	Hodnota	Jednotka
A	0,00136420	m ²
I _y	0,00000165	m ⁴
I _z	0,00000054	m ⁴
W _{ply}	0,00004225	m ³
W _{plz}	0,00002564	m ³
I _t	0,00000132	m ⁴



Tab. 32: Průřezové charakteristiky – vedl. nosník plošiny

Obr. 44: Vedl. nosník plošiny – znázornění

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace
N _{Ed} +	57,74 [kN]	NC1
N _{Ed} -	-96,42 [kN]	NC2
M _{Ed,y}	2,7 [kN.m]	NC6
V _{Ed,z}	4,05 [kN]	NC6

Tab. 33: Vnitřní síly – vedl. nosník plošiny

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Ohýbaná část:

$$\frac{c}{t} = \frac{100 - 2 \cdot 5}{5} = 18,00 < 72\varepsilon = 58,32 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Tlačená část:

$$\frac{c}{t} = \frac{100 - 2 \cdot 5}{5} = 18,00 < 33\varepsilon = 26,73 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Posouzení na tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,364 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 484,29 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{96,42}{484,29} = 0,20 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na ohyb:

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,225 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 15,00 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{2,7}{15,00} = 0,18 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na smyk:

$$A_v = \frac{(A \cdot b)}{b + h} = \frac{1,364 \cdot 10^{-3} \cdot 0,05}{0,05 + 0,1} = 4,96 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{4,96 \cdot 10^{-4} \cdot (355 \cdot 10^3 / \sqrt{3})}{1,0} = 101,67 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{4,05}{101,67} = 0,04 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na rovinný vzpěr:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2622 \text{ mm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 1,65 \cdot 10^{-6}}{2,622^2} = 497,68 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,364 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{497,68}} = 0,99$$

$\alpha = 0,49 \Rightarrow$ jedná se o dutý průřez tvarovaný za studena, uvažuje se křivka vzpěrnosti **c** se součinitelem imperfekce 0,49

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,99 - 0,2) + 0,99^2] = 1,18$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,18 + \sqrt{1,18^2 - 0,99^2}} = 0,55$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,55 \cdot 1,364 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 265,31 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{96,42}{265,31} = 0,36 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci ohybu a tlaku:

$$C_{m,z} = 0,95$$

$$C_{m,y} = 0,9$$

$$C_{m,LT} = 0,95$$

$$k_{yy} = 1,01$$

$$k_{yz} = 0,74$$

$$k_{zz} = 1,24$$

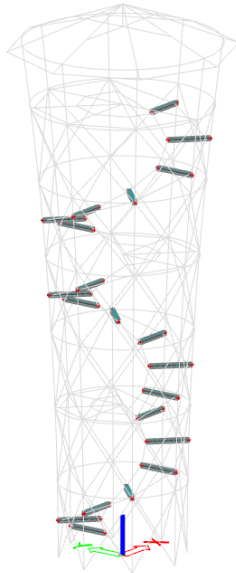
$$k_{zy} = 0,6$$

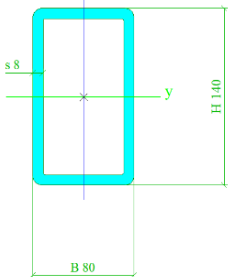
$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,rk}} &= \frac{96,42}{0,55 \cdot 484,29} + 1,01 \cdot \frac{2,7}{1,0 \cdot 15,00} + 0 = \\ &= 0,55 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ} \end{aligned}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{z_1} \cdot N_{rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,rk}} = \frac{96,42}{0,55 \cdot 484,29} + 0,6 \cdot \frac{2,7}{1,0 \cdot 15,00} + 0 =$$

$$= 0,47 < 1 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

7.3.7 Nosník schodnice



Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	0,00322820	m ²	
I _y	0,00000795	m ⁴	
I _z	0,00000321	m ⁴	
W _{ply}	0,00014350	m ³	
W _{plz}	0,00009562	m ³	
I _t	0,00000715	m ⁴	

Tab. 34: Průřezové charakteristiky – schodišťový nosník

Obr. 45: Schodišťový nosník – znázornění

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace
N _{Ed} +	18,82 [kN]	NC5
N _{Ed} -	-101,11 [kN]	NC13
M _{Ed,y}	-18,71 [kN.m]	NC14
M _{Ed,z}	-7,75 [kN.m]	NC5
V _{Ed,y}	-57,05 [kN]	NC5

Tab. 35: Vnitřní síly – schodišťový nosník

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Ohýbaná část:

$$\frac{c}{t} = \frac{140 - 2 \cdot 8}{8} = 15,50 < 72\varepsilon = 58,32 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Tlačená část:

$$\frac{c}{t} = \frac{140 - 2 \cdot 8}{8} = 15,50 < 33\varepsilon = 26,73 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Posouzení na tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{3,228 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 1146,01 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{101,11}{1146,01} = 0,09 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na ohyb:

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,435 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 50,94 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{18,71}{50,94} = 0,37 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{plz} \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{9,562 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 33,94 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = \frac{7,75}{33,94} = 0,23 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na smyk:

$$A_v = \frac{(A \cdot b)}{b + h} = \frac{3,228 \cdot 10^{-3} \cdot 0,08}{0,08 + 0,14} = 1,17 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{Mo}} = \frac{1,17 \cdot 10^{-3} \cdot (355 \cdot 10^3/\sqrt{3})}{1,0} = 240,60 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{57,05}{240,60} = 0,24 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na rovinný vzpěr:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2 \cdot 1650 = 3300 \text{ mm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 7,95 \cdot 10^{-6}}{3,3^2} = 1513,56 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,228 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1513,56}} = 0,87$$

$\alpha = 0,49 \Rightarrow$ jedná se o dutý průřez tvarovaný za studena, uvažuje se křivka vzpěrnosti c se součinitelem imperfekce 0,49

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,87 - 0,2) + 0,87^2] = 1,04$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,04 + \sqrt{1,04^2 - 0,87^2}} = 0,62$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,62 \cdot 3,228 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 708,55 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{101,11}{708,55} = 0,14 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci ohybu a tlaku:

$$C_{m,z} = 0,92$$

$$C_{m,y} = 0,9$$

$$C_{m,LT} = 0,85$$

$$k_{yy} = 1,48$$

$$k_{yz} = 0,56$$

$$k_{zz} = 0,94$$

$$k_{yz} = 0,89$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,rk}} =$$

$$= \frac{101,11}{0,62 \cdot 1146,01} + 1,48 \cdot \frac{18,71}{1,0 \cdot 50,94} + 0,56 \cdot \frac{7,75}{33,94} = 0,81 < 1$$

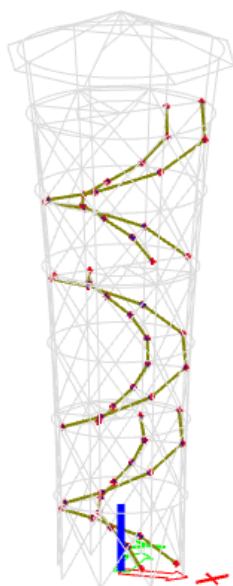
⇒ **VYHOVÍ**

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,rk}} =$$

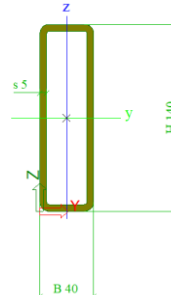
$$= \frac{101,11}{0,36 \cdot 1146,01} + 0,89 \cdot \frac{18,71}{1,0 \cdot 50,94} + 0,94 \cdot \frac{7,75}{33,94} = 0,79 < 1$$

⇒ **VYHOVÍ**

7.3.8 Schodnice



Průřezové charakteristiky		
Veličina	Hodnota	Jednotka
A	0,00166420	m ²
I _y	0,00000348	m ⁴
I _z	0,00000044	m ⁴
W _{ply}	0,00006678	m ³
W _{plz}	0,00002607	m ³
I _t	0,00000133	m ⁴



Tab. 36: Průřezové charakteristiky – schodnice

Obr. 46: Schodnice – znázornění

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace
N _{Ed} +	96,83 [kN]	NC12
N _{Ed} -	-106,55 [kN]	NC11
M _{Ed,y}	5,94 [kN.m]	NC14
V _{Ed,z}	8,75 [kN]	NC14

Tab. 37: Vnitřní síly – schodnice

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{fy}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Ohýbaná část:

$$\frac{c}{t} = \frac{140 - 2 \cdot 5}{5} = 26,00 < 72\varepsilon = 58,32 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Tlačená část:

$$\frac{c}{t} = \frac{140 - 2 \cdot 5}{5} = 26,00 < 33\varepsilon = 26,73 \Rightarrow \text{tř. průřezu 1}$$

Posouzení na tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{1,664 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 590,71 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{106,55}{590,71} = 0,18 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na ohyb:

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{6,678 \cdot 10^{-5} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 23,71 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{5,94}{23,71} = 0,25 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na smyk:

$$A_v = \frac{(A \cdot b)}{b + h} = \frac{1,664 \cdot 10^{-3} \cdot 0,04}{0,04 + 0,14} = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{MO}} = \frac{1,29 \cdot 10^{-3} \cdot (355 \cdot 10^3/\sqrt{3})}{1,0} = 265,29 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{8,75}{265,29} = 0,03 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na rovinný vzpěr:

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2696 \text{ mm}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot 3,48 \cdot 10^{-6}}{2,696^2} = 993,42 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,664 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{993,42}} = 0,77$$

$\alpha = 0,49 \Rightarrow$ jedná se o dutý průřez tvarovaný za studena, uvažuje se křivka vzpěrnosti c
se součinitelem imperfekce 0,49

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,77 - 0,2) + 0,77^2] = 0,94$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,94 + \sqrt{0,94^2 - 0,77^2}} = 0,68$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{0,68 \cdot 1,664 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,00} = 401,89 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{106,55}{401,89} = 0,27 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci ohybu a tlaku:

$$C_{m,z} = 0,95$$

$$C_{m,y} = 0,9$$

$$C_{m,LT} = 0,95$$

$$k_{yy} = 0,96$$

$$k_{yz} = 0,81$$

$$k_{zz} = 1,34$$

$$k_{zy} = 0,58$$

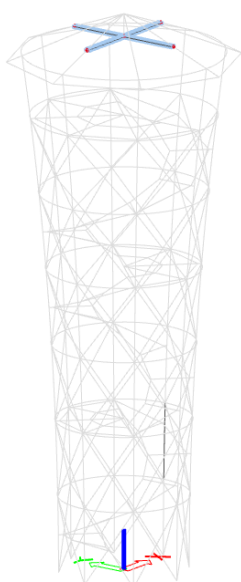
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,rk}} = \frac{106,55}{0,68 \cdot 590,79} + 0,96 \cdot \frac{5,94}{1,0 \cdot 23,71} + 0 =$$

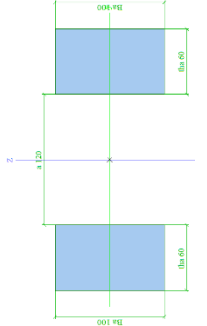
$$= 0,51 < 1 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,rk}} = \frac{106,55}{0,68 \cdot 590,79} + 0,58 \cdot \frac{5,94}{1,0 \cdot 23,71} + 0 =$$

$$= 0,41 < 1 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

7.3.9 Kleština



Průřezové charakteristiky			
Veličina	Hodnota	Jednotka	
A	0,0120000	m ²	
I _y	0,0000100	m ⁴	
I _z	0,0001008	m ⁴	
W _{ely}	0,0002000	m ³	
W _{elz}	0,0008400	m ³	
I _t	0,0000090	m ⁴	

Tab. 38: Průřezové charakteristiky – kleština

Obr. 47: Kleština – znázornění

Vnitřní síly		Rozhodující kombinace
N _{Ed} -	-13,46 [kN]	NC10
M _{Ed,y}	-0,08 [kN.m]	NC1
M _{Ed,z}	0,30 [kN.m]	NC12
V _{Ed,z}	-0,1 [kN]	NC1

Tab. 39: Vnitřní síly – kleštiny

Posouzení na ohyb:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{0,08 \cdot 10^6}{2,0 \cdot 10^4} = 0,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,Ed}}{W_z} = \frac{0,30 \cdot 10^6}{8,40 \cdot 10^4} = 0,36 \text{ MPa}$$

$k_m = 0,7 \Rightarrow$ součinitel zohledňující redistribuci napětí a vliv nehomogenit v průřezu, pro rostlé dřevo obdélníkového průřezu se uvažuje hodnota 0,7

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,4}{12,92} + 0,7 \cdot \frac{0,30}{12,92} = 0,05 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = 0,7 \cdot \frac{0,4}{12,92} + \frac{0,30}{12,92} = 0,05 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na tlak:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{13,46 \cdot 10^3}{2 \cdot 60 \cdot 100} = 1,12 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{1,12}{12,92} = 0,09 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na smyk:

$k_{cr} = 0,67 \Rightarrow$ pro ověření smykové únosnosti prvků v ohybu se má uvážit vliv trhlin použitím účinné šířky prvku b_{eff} , doporučená hodnota součinitele k_{cr} je pro rostlé dřevo 0,67

$$b_{eff} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 60 = 40,2 \text{ mm}$$

$$\tau_{z,d} = \frac{3 \cdot V_{z,Ed}}{2 \cdot A} = \frac{3 \cdot 0,1 \cdot 10^3}{2 \cdot 2 \cdot 40,2 \cdot 100} = 0,04 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} = \frac{0,04}{2,15} = 0,02 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci vzpěrného tlaku a ohybu:

$$L_{cr,z} = 2338 \text{ mm}$$

$$L_{cr,y} = 4676 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 4,676 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,06 \cdot 0,1}{1,0 \cdot 10^{-5}}} = 161,98$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 2,338 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,06 \cdot 0,01}{10,08 \cdot 10^{-5}}} = 25,51$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{161,98}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 2,75$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{25,51}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,43$$

$\beta_c = 0,2 \Rightarrow$ je součinitel pro prvky, pro rostlé dřevo se uvažuje hodnota 0,2

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (2,75 - 0,3) + 2,75^2] = 4,52$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,43 - 0,3) + 0,43^2] = 0,61$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{4,52 + \sqrt{4,52^2 - 2,75^2}} = 0,12$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,61 + \sqrt{0,61^2 - 0,43^2}} = 0,97$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{1,12}{0,12 \cdot 12,94} + \frac{0,4}{12,94} + 0,7 \cdot \frac{0,36}{12,94} = 0,85 < 1$$

\Rightarrow **VYHOVÍ**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{1,12}{0,97 \cdot 12,94} + 0,7 \cdot \frac{0,4}{12,94} + \frac{0,36}{12,94} = 0,15 < 1$$

\Rightarrow **VYHOVÍ**

Posouzení na klopení:

Účinná délka l_{eff} je uvažována podle normy [ČSN EN 1995-1-1, tab. 6.1].

$$l_{eff} = 0,9 \cdot l + 0,2 \cdot h = 0,9 \cdot 4676 + 0,2 \cdot 100 = 4228,4 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_t}}{l_{eff} \cdot W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{7400 \cdot 10,08 \cdot 10^7 \cdot 550 \cdot 9,0 \cdot 10^7}}{4228,4 \cdot 2,0 \cdot 10^5} =$$

$$= 225,73 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{225,73}} = 0,33$$

$k_{crit} = 1 \Rightarrow$ součinitel, který bere v úvahu redukovanou pevnost v ohybu v důsledku klopení, pro $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$ [ČSN EN 1995-1-1, vztah 6.34]

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = \frac{0,4}{1,0 \cdot 12,94} = 0,03 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \left(\frac{0,4}{1,0 \cdot 12,94} \right)^2 + \frac{1,12}{0,93 \cdot 12,94} = 0,09 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

7.4 MSP – Posouzení vodorovného průhybu

Jelikož [ČSN EN 1995-1-1] Navrhování dřevěných konstrukcí – obecná pravidla, neuvádí limitní vodorovné průhyby, byly vodorovné posuny posuzovány s limity danými v [ČSN EN 1993-1-1] Navrhování ocelových konstrukcí – obecná pravidla, NA.2.23. Vodorovné průhyby konstrukce v charakteristické kombinaci byly spočítány programem Scia Engineer.

Celkový vodorovný průhyb konstrukce činí:

$$\delta = 36,7 \text{ mm} .$$

Tento vodorovný posun pro konstrukci jako celku, byl porovnán s maximálním dovoleným posunem. Hodnota by neměla překročit povolenou hodnotu δ_{max} .

$$\delta_{max} = \frac{h}{500} = \frac{22500}{500} = 45 \text{ mm}$$

$$\delta = 36,7 \text{ mm} < \delta_{max} = 45 \text{ mm}$$

Dále jsou zde uvedeny vodorovné průhyby po výšce konstrukce (po jednotlivých patrech).

$$\delta_{lim} = \frac{h}{300} = \frac{3000}{300} = 10 \text{ mm}$$

$$\delta(3m) = 5,5 \text{ mm} < \delta_{max} = 10 \text{ mm}$$

$$\delta(6m) = 3,6 \text{ mm} < \delta_{max} = 10 \text{ mm}$$

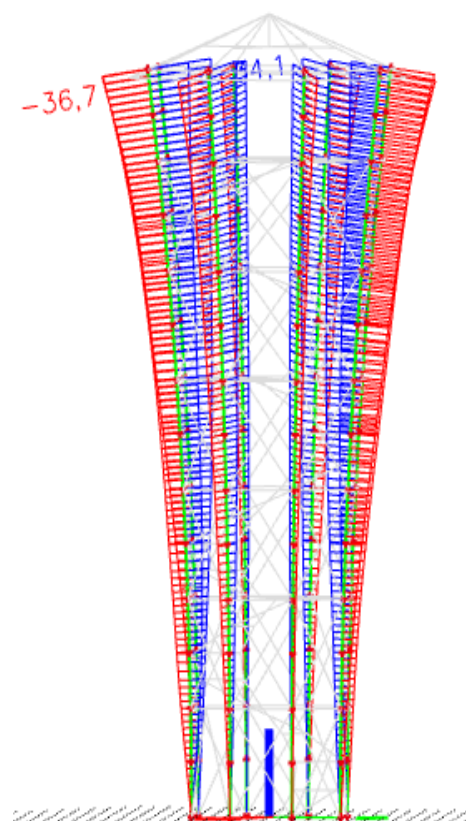
$$\delta(9m) = 4,2 \text{ mm} < \delta_{max} = 10 \text{ mm}$$

$$\delta(12m) = 4,8 \text{ mm} < \delta_{max} = 10 \text{ mm}$$

$$\delta(15m) = 4,5 \text{ mm} < \delta_{max} = 10 \text{ mm}$$

$$\delta(18m) = 5,0 \text{ mm} < \delta_{max} = 10 \text{ mm}$$

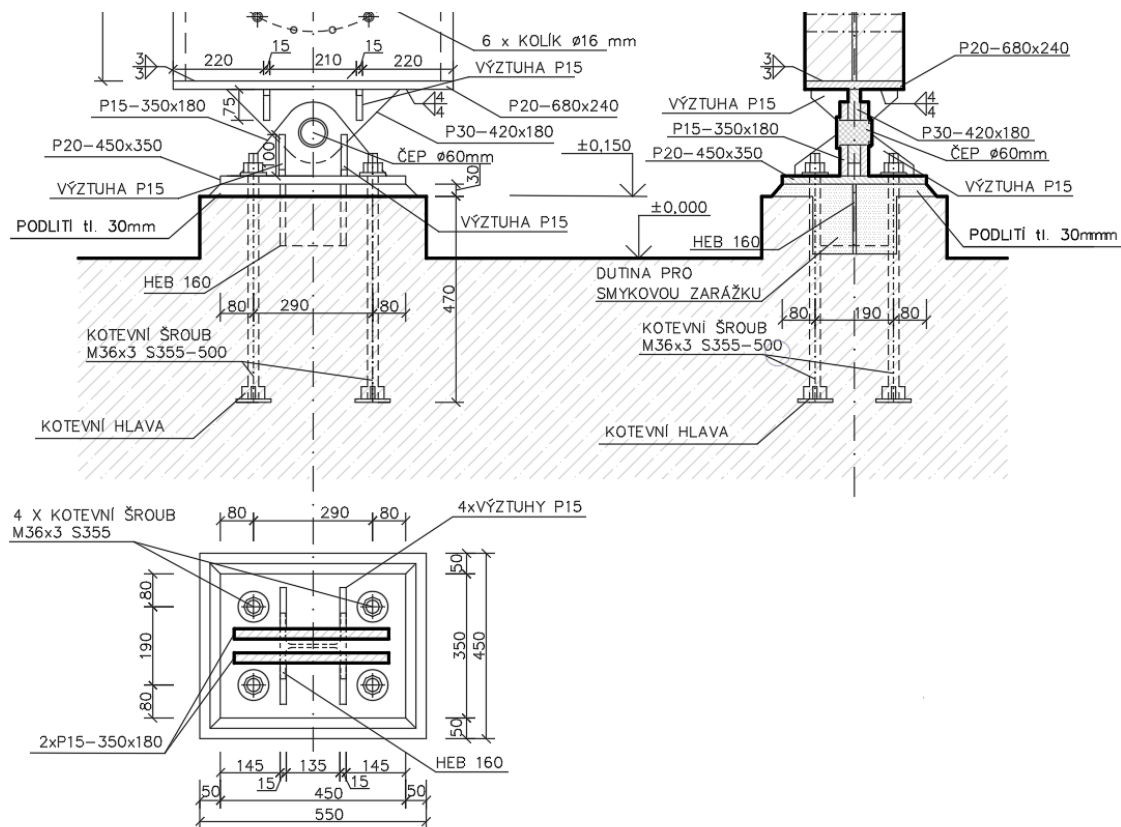
$$\delta(20,5m) = 9,2 \text{ mm} < \delta_{max} = 10 \text{ mm}$$



Obr. 48: Vodorovný posun sloupů

8 Návrh a posouzení vybraných spojů nosných prvků

8.1 Kotvení a přípoj sloupů



Obr. 49: Kotvení sloupu

8.1.1 Patní deska

$$N_{Ed} = 668,68 \text{ kN} - (\text{komb. NC1})$$

Patní plech:

$$a = 450 \text{ mm}$$

$$b = 350 \text{ mm}$$

$$t = 20 \text{ mm}$$

Betonová patka:

$$a = 550 \text{ mm}$$

$$b = 450 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$a_1 = \min \{a + 2 \cdot a_r ; 5a ; a + h ; 5b_1\} = \{450 + 2 \cdot 50 ; 5 \cdot 450 ; 450 + 800 ; 5 \cdot 450\} = 550 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min \{b + 2 \cdot b_r ; 5b ; b + h ; 5a_1\} = \{350 + 2 \cdot 50 ; 5 \cdot 350 ; 350 + 800 ; 5 \cdot 550\} = 450 \text{ mm}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{550 \cdot 450}{450 \cdot 350}} = 1,25$$

$$f_{j,d} = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{cd} = 0,67 \cdot 1,25 \cdot \frac{16}{1,5} = 8,93 \text{ MPa}$$

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 8,93 \cdot 1,0}} = 59,23 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 10,23 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$N_{Rd,betonu} = A_{eff} \cdot f_{j,d} = 10,23 \cdot 10^{-2} \cdot 8,93 \cdot 10^3 = 913,54 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,oceli} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 2 \cdot 18 \cdot 340 \cdot \frac{235 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 2876,4 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \min \{N_{Rd,betonu}; N_{Rd,oceli}\} = \min \{913,54; 2876,4\} = 913,54 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{668,68}{913,54} = 0,73 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

8.1.2 Kotvení šroubů

$$N_{Ed} = 626,81 \text{ kN} - (\text{komb. NC7})$$

Protože je tahová síla na sloupky velká, vycházely by velké profily lepených šroubů, které by od sebe musely být hodně vzdáleny. Z tohoto důvodu byly navrženy předem zabetonované šrouby s kotevní hlavou.

Kotevní šrouby: **4 x M36x3**

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$R_d = 280 \text{ MPa}$ (pevnost šroubu v tahu)

$A_s = 865 \text{ mm}^2$

$L = 550 \text{ mm}$

$a = 90 \text{ mm}$

$b = 100 \text{ mm}$

Posouzení na přetržení:

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{626,81}{4} = 156,70 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 0,8 \cdot R_d \cdot A_s = 0,8 \cdot 280 \cdot 865 \cdot 10^{-3} = 193,76 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{156,70}{193,76} = 0,81 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Minimální hloubka zabetonování:

$f_{td} = 0,75 \text{ Mpa}$ (pevnost betonu v tahu a soudržnosti)

$$h \geq \frac{0,2 \cdot F_{t,Rd}}{\pi \cdot d \cdot f_{td}} = \frac{0,2 \cdot 193,76}{\pi \cdot 0,036 \cdot 0,75} = 457 \text{ mm}$$

Byla navržena hloubka zabetonování 500 mm.

8.1.3 Smyková zarážka

$R_x = 120,66 \text{ kN}$ – (komb. NC12)

$R_y = 149,12 \text{ kN}$ – (komb. NC6)

Byla navržena smyková zarážka HEB 160.

$$W_x = 354 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_y = 170 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$l = 150 \text{ mm}$ (délka zarážky v betonu)

Posouzení betonu v otláčení:

$$F_{c,Ed,max} = \frac{R_y}{l \cdot b} = \frac{149,12 \cdot 10^3}{150 \cdot 160} = 6,21 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_{c,Ed,max}}{f_{cd}} = \frac{6,21}{\frac{16}{1,5}} = 0,58 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení zarážky ve smyku:

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{1,76 \cdot 10^{-3} \cdot (355 \cdot 10^3 / \sqrt{3})}{1,0} = 360,73 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{149,12}{360,73} = 0,41 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení zarážky v ohybu:

$$M_x = R_x \cdot l = 120,66 \cdot 0,15 = 18,10 \text{ kN.m}$$

$$M_y = R_y \cdot l = 149,12 \cdot 0,15 = 22,37 \text{ kN.m}$$

$$\sigma_{Ed,x} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{18,10 \cdot 10^6}{354 \cdot 10^3} = 51,13 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Ed,y} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{22,37 \cdot 10^6}{170 \cdot 10^3} = 131,59 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{Ed,x} + \sigma_{Ed,y}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{51,13 + 131,59}{\frac{355}{1,00}} = 0,52 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

8.1.4 Čepový spoj

S355

$$f_{y,p} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{u,p} = 510 \text{ MPa}$$

$$d = 60 \text{ mm}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 60^2}{4} = 2827,43 \text{ mm}^2$$

$$F_{Ed,t} = 626,81 \text{ kN} - (\text{komb. NC7})$$

$$F_{Ed,c} = 668,68 \text{ kN} - (\text{komb. NC1})$$

$$t \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{Ed,t} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{626,81 \cdot 1,0}{355 \cdot 10^{-3}}} = 0,029 \text{ m}$$

Byla navržena tloušťka plechu 30 mm.

Posouzení čepu ve střihu:

$$F_{V,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot A \cdot f_{u,p}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 2827,43 \cdot 510 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 1384,31 \text{ kN}$$

$$F_{V,Ed} = \sqrt{F_c^2 + V^2} = \sqrt{668,68^2 + 30,55^2} = 669,38 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} = \frac{669,38}{1384,31} = 0,48 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení plechu a čepu v otlačení:

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 30 \cdot 60 \cdot 355 \cdot 10^{-3}}{1,00} = 958,50 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{958,5}{1384,31} = 0,70 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení čepu v ohybu:

$$W_{el} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 60^3}{32} = 21205,75 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = 2 \cdot \frac{1,5 \cdot 21205,75 \cdot 355 \cdot 10^{-6}}{1,00} = 11,29 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$a = 15 \text{ mm}$$

$$b = 30 \text{ mm}$$

$$c = 2 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = 2 \cdot \frac{1,5 \cdot 21205,75 \cdot 355 \cdot 10^{-6}}{1,00} = 11,29 \text{ kN.m}$$

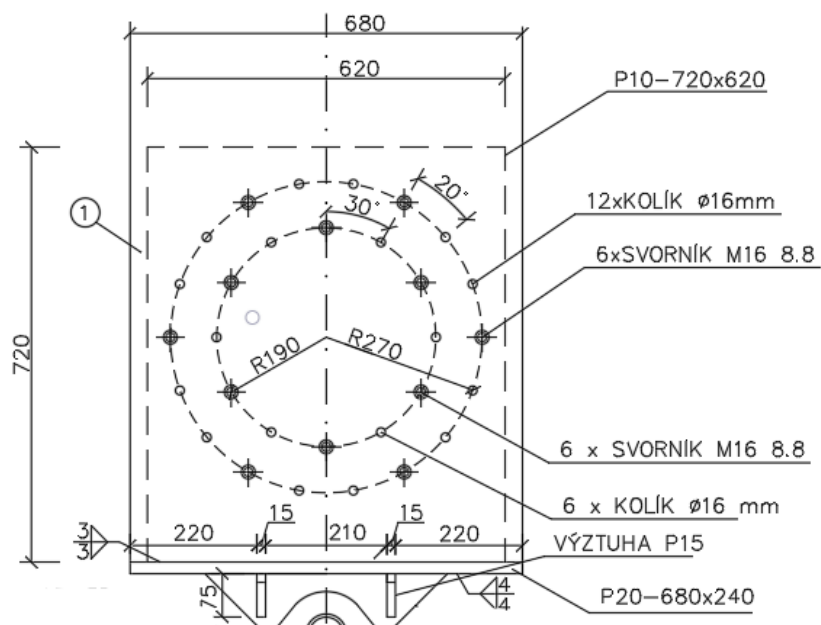
$$M_{Ed} = \frac{F_{V,Ed}}{8} \cdot (b + 4 \cdot c + 2 \cdot a) = \frac{1384,31}{8} \cdot (0,03 + 4 \cdot 0,002 + 2 \cdot 0,015) = 5,69 \text{ kN.m}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{5,69}{11,29} = 0,50 < 1 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

Posouzení čepu při kombinaci stříhu a ohybu:

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}}\right)^2 = 0,50^2 + 0,48^2 = 0,49 < 1 \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$$

8.1.5 Přípoj sloupu ke styčnickovému plechu



Obr. 50: Přípoj sloupu ke kotvení

Kolíky:

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$n_1 = 18 \text{ ks} ; r_1 = 270 \text{ mm} ; a_1 = 20^\circ$$

$$n_2 = 12 \text{ ks} ; r_2 = 190 \text{ mm} ; a_2 = 30^\circ$$

Styčnický plech:

$$t = 10 \text{ mm}$$

$$h = 720 \text{ mm} ; b = 620 \text{ mm}$$

8.1.5.1 Posouzení kolíků

Rozteče:

Mezi sebou:

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot r_1}{n_1} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 270}{18} = 96 \text{ mm} \geq 6 \cdot d = 96 \text{ mm}$$

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot r_2}{n_2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 190}{12} = 104 \text{ mm} \geq 6 \cdot d = 96 \text{ mm}$$

Mezi kružnicemi:

$$r_1 - r_2 = 270 - 190 = 80 \text{ mm} \geq 5 \cdot d = 80 \text{ mm}$$

Od konce:

$$120 \text{ mm} \geq 7 \cdot d = 112 \text{ mm}$$

Od okraje:

$$70 \text{ mm} \geq 4 \cdot d = 64 \text{ mm}$$

Posouzení kolíků ve střihu:

$$t_1 = 0,5 \cdot (b - t) = 0,5 \cdot (240 - 10) = 115 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = V_{z,Ed} \cdot e = 27,71 \cdot 0,485 = 13,45 \text{ kN.m}$$

$$F_{1,M} = \frac{M_{Ed} \cdot r_1}{n_1 \cdot r_1^2 + n_2 \cdot r_2^2} = \frac{13,45 \cdot 270 \cdot 10^3}{18 \cdot 270^2 + 12 \cdot 190^2} = 2,03 \text{ kN}$$

$$F_{1,N} = \frac{N_{Ed}}{n_1 + n_2} = \frac{668,68}{18 + 12} = 21,29 \text{ kN}$$

$$F_{1,V} = \frac{V_{z,Ed}}{n_1 + n_2} = \frac{27,71}{18 + 12} = 0,92 \text{ kN}$$

$$F_{1,M,II} = F_{1,M} \cdot \sin((i - 1) \cdot \alpha_i + 90)$$

$$F_{1,M,\perp} = F_{1,M} \cdot \cos((i - 1) \cdot \alpha_i + 90)$$

$$F_{1,II} = F_{1,N} + F_{1,M,II}$$

$$F_{1,\perp} = F_{1,V} + F_{1,M,\perp}$$

$$F_{V,Ed} = \sqrt{F_{1,II}^2 + F_{1,\perp}^2}$$

i	α_i	$F_{1,M,II}$ [kN]	$F_{1,M,\perp}$ [kN]	F_{1N} [kN]	F_{1V} [kN]	$F_{1,II}$ [kN]	$F_{1,\perp}$ [kN]	$F_{V,Ed}$ [kN]
1	0	0,00	2,03	22,29	0,92	22,29	2,96	22,49
2	20	-0,70	1,91			21,59	2,83	21,78
3	40	-1,31	1,56			20,98	2,48	21,13
4	60	-1,76	1,02			20,53	1,94	20,62
5	80	-2,00	0,35			20,29	1,28	20,33
6	100	-2,00	-0,35			20,29	0,57	20,30
7	120	-1,76	-1,02			20,53	-0,09	20,53
8	140	-1,31	-1,56			20,98	-0,63	20,99
9	160	-0,70	-1,91			21,59	-0,99	21,62
10	180	0,00	-2,03			22,29	-1,11	22,32
11	200	0,70	-1,91			22,99	-0,99	23,01
12	220	1,31	-1,56			23,60	-0,63	23,61
13	240	1,76	-1,02			24,05	-0,09	24,05
14	260	2,00	-0,35			24,29	0,57	24,30
15	280	2,00	0,35			24,29	1,28	24,33
16	300	1,76	1,02			24,05	1,94	24,13
17	320	1,31	1,56			23,60	2,48	23,73
18	340	0,70	1,91			22,99	2,83	23,16

Tab. 40: Rozložení sil na jednotlivé kolíky

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 380 = 26,17 \text{ Mpa}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 16^{2,6} = 324,28 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$\alpha_i = 90 + \arctg \frac{F_{1,II}}{F_{1,\perp}}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left(\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M}$$

$$n_{ef,0} = \min \left(n ; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \right)$$

$$F_{Rd} = F_{v,Rd} \cdot \frac{n_{ef}}{n} \cdot s$$

$s = 2 \Rightarrow$ počet stříhů

α_i	$f_{h,a,k}$ [MPa]	$F_{v,Rk}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]	F_{Rd} [kN]	Posudek [-]
7,56	25,47	23,29	12,54	25,08	0,90
7,48	25,49	23,30	12,55	25,09	0,87
6,74	25,61	23,40	12,60	25,20	0,84
5,40	25,81	23,55	12,68	25,36	0,81
3,60	26,01	23,70	12,76	25,52	0,80
1,61	26,14	23,80	12,82	25,63	0,79
0,26	26,17	23,83	12,83	25,66	0,80
1,73	26,14	23,80	12,81	25,63	0,82
2,62	26,09	23,76	12,79	25,59	0,84
2,85	26,07	23,75	12,79	25,57	0,87
2,46	26,10	23,77	12,80	25,60	0,90
1,54	26,14	23,80	12,82	25,63	0,92
0,22	26,17	23,83	12,83	25,66	0,94
1,35	26,15	23,81	12,82	25,64	0,95
3,01	26,06	23,74	12,78	25,57	0,95
4,61	25,91	23,62	12,72	25,44	0,95
6,00	25,73	23,48	12,64	25,29	0,94
7,03	25,57	23,36	12,58	25,16	0,92

Tab. 41: Posouzení únosnosti jednotlivých kolíků

8.1.5.2 Posouzení styčnickového plechu

$$t = 10\text{mm}; b = 620\text{mm}$$

$$A = b \cdot t = 10 \cdot 620 = 6200 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = (b - 4 \cdot d_0) \cdot t = (620 - 4 \cdot 16) \cdot 10 = 5560 \text{ mm}^2$$

Posouzení plechu v tahu:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6200 \cdot 355 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 2201,00 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M0}} = \frac{0,9 \cdot 5560 \cdot 355 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 1776,42 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = \min(2201,00; 1776,42) = 1776,42 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{626,81}{1776,42} = 0,35 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení plechu v otlačení:

$$F_{V,Ed,max} = 20,63 \text{ kN}$$

$$e_1 = e_2 = 40 \text{ mm}$$

$$p_1 = p_2 = 96 \text{ mm}$$

$$\alpha_d = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}\right) = 0,83$$

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = 0,83$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,83 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 800 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 265,6 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{V,Ed,max}}{F_{b,Rd}} = \frac{23,33}{265,6} = 0,09 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení koutového svaru styčnickového plechu:

$$a = 3mm$$

$$L_z = 620mm$$

$$\tau_{II} = \frac{V_{z,Ed}}{2 \cdot a \cdot L_z} = \frac{27,71 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 620} = 7,45 MPa$$

$$M_{Ed} = V_{z,Ed} \cdot e = 27,71 \cdot 0,1 = 2,77 kNm$$

$$\begin{aligned} \tau_{\perp} = \sigma_{\perp} &= \frac{N_{Ed}}{\sqrt{2} \cdot a \cdot L_z} + \frac{M_{Ed}}{\sqrt{2} \cdot \frac{1}{6} a \cdot L_z^2} = \frac{626,81 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 2 \cdot 620} + \frac{2,77 \cdot 10^6}{\sqrt{2} \cdot \frac{1}{6} 3 \cdot 2 \cdot 620^2} \\ &= 134,44 MPa \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{II}^2} &= \sqrt{134,44^2 + 3 \cdot 134,44^2 + 3 \cdot 7,45^2} = 269,19 MPa \\ &< \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453,33 MPa \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ} \end{aligned}$$

$$\sigma_{\perp} = 134,44 MPa < \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{510}{1,25} = 408 MPa \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

8.1.5.3 Posouzení sloupu

Tah rovnoběžně s vlákny:

$$A_{net} = (h - 4 \cdot d_0) \cdot (b - t) = (680 - 4 \cdot 16) \cdot (240 - 10) = 1,42 \cdot 10^5 mm^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,Ed}}{A_{net}} = \frac{626,81 \cdot 10^3}{1,42 \cdot 10^5} = 4,42 MPa$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{4,42}{9,24} = 0,49 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

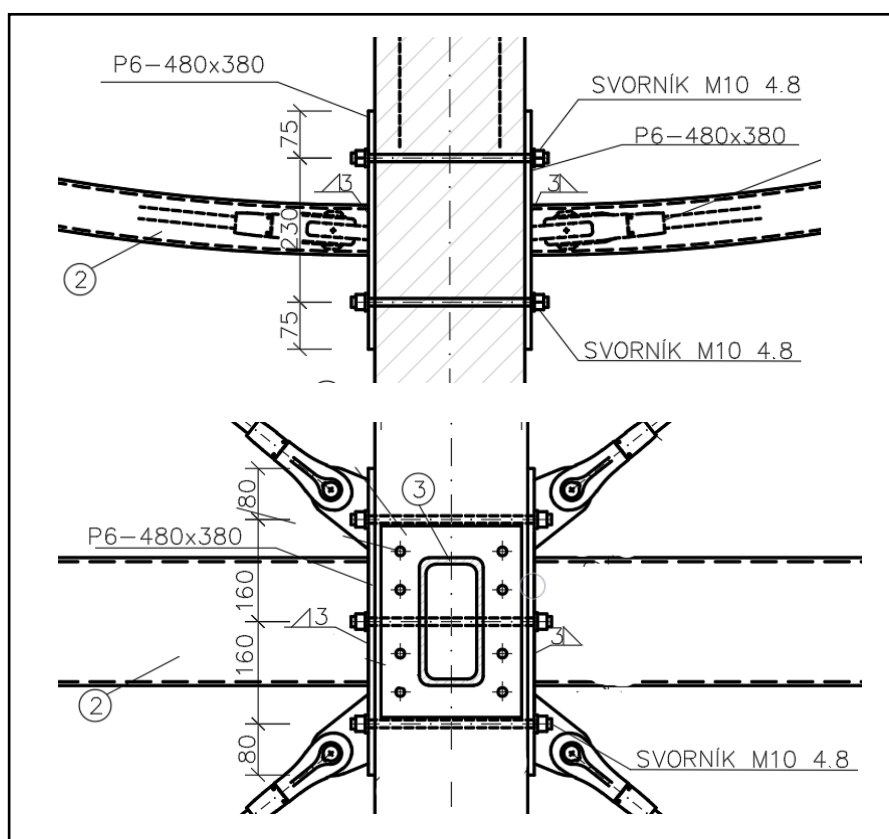
Tlak rovnoběžně s vlákny:

$$A_{ef} = h \cdot (b - t) = 680 \cdot (240 - 10) = 1,56 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{t,Ed}}{A_{net}} = \frac{668,68 \cdot 10^3}{1,56 \cdot 10^5} = 4,28 \text{ Mpa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{4,28}{13,44} = 0,32 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

8.2 Přípoj vodorovného ztužení ke sloupu



Obr. 51: Přípoj vodorovného ztužení ke sloupu

Posouzení desky:

$$A_{net} = (h \cdot t) - (6 \cdot d \cdot t) = (480 \cdot 6) - (6 \cdot 10 \cdot 6) = 2520 \text{ mm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 2520 \cdot 510 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 925,34 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{42,26 \cdot 1,5}{925,34} = 0,07 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení svorníků:

Rozteče:

Rovnoběžně s vlákny:

$$160 \text{ mm} > a_1 = (4 + |\cos \alpha|) \cdot d = 40 \text{ mm}$$

Kolmo na vlákna

$$230 \text{ mm} > a_1 = 4 \cdot d = 40 \text{ mm}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 10) \cdot 380 = 28,04 \text{ Mpa}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 10^{2,6} = 47,77 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ 2,3 \cdot \sqrt{\frac{0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d}{M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d}} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right\} = 8,42 \text{ kN}$$

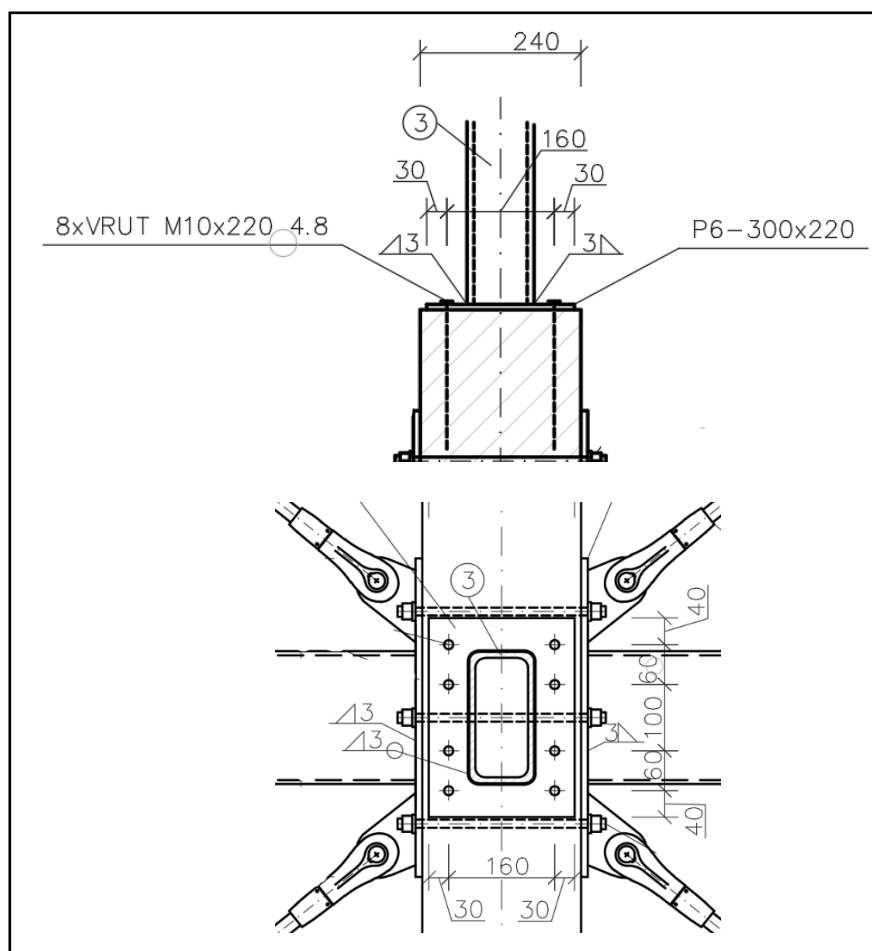
$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 8,42}{1,25} = 4,71 \text{ kN}$$

$$n_{ef} = \min \left(n ; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \right) = 2,83$$

$$F_{Rd} = F_{v,Rd} \cdot n \cdot n_{ef} = 4,71 \cdot 2 \cdot 2,83 = 26,69 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{20,11}{26,69} = 0,75 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

8.3 Připoj plošinového nosníku ke sloupu



Obr. 52: Připoj plošinového nosníku ke sloupu

Posouzení na střih:

Rozteče:

Rovnoběžně s vlákny:

$$60 \text{ mm} > a_1 = (4 + |\cos \alpha|) \cdot d = 40 \text{ mm}$$

Kolmo na vlákna

$$160 \text{ mm} > a_1 = 4 \cdot d = 40 \text{ mm}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 10) \cdot 380 = 28,04 \text{ Mpa}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 10^{2,6} = 47,77 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left(\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\} = 9,84 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 9,84}{1,25} = 5,51 \text{ kN}$$

$$n_{ef} = \min \left(n ; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \right) = 3,48$$

$$F_{Rd} = F_{v,Rd} \cdot n \cdot n_{ef} = 5,51 \cdot 2 \cdot 3,48 = 38,39 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{30,11}{38,39} = 0,78 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na vytažení:

$$n_{ef} = n^{0,9} = 4^{0,9} = 3,48$$

$$f_{ax,k} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5} = 26,67 \text{ MPa}$$

$$l_{ef} = 0,6 \cdot l = 0,6 \cdot 220 = 132 \text{ mm} - \text{délka závitové části}$$

$$F_{ax,Rk} = n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,k} = 3,48 \cdot (\pi \cdot 10 \cdot 132)^{0,8} \cdot 26,67 = 72,74 \text{ kN}$$

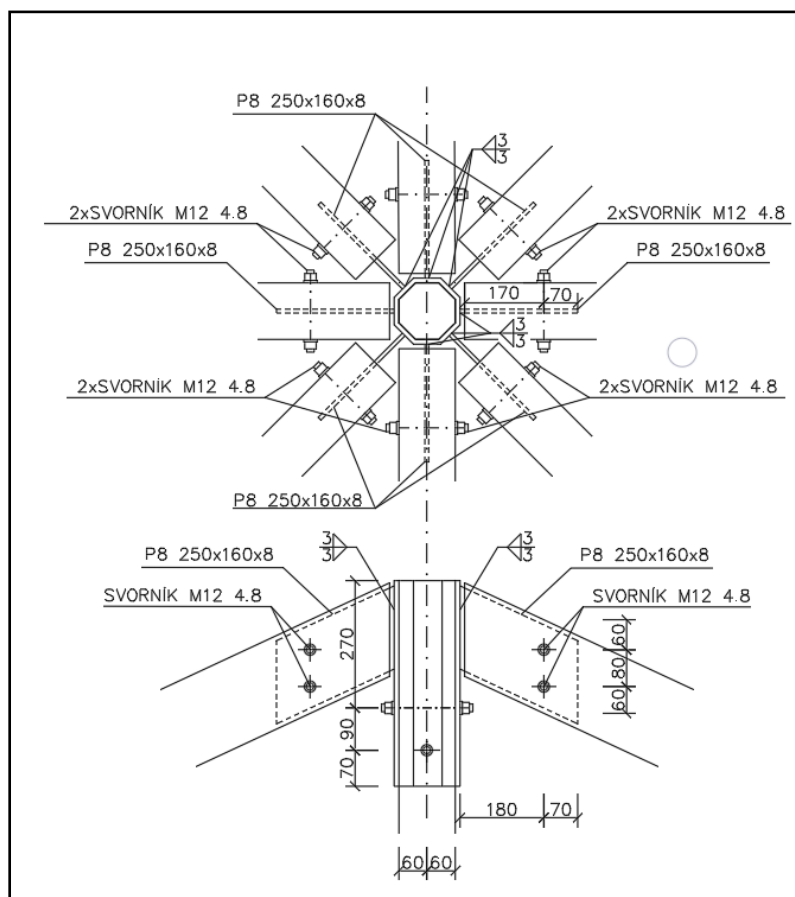
$$F_{ax,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{ax,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 72,74}{1,25} = 40,73 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{ax,Rd}} = \frac{25,00}{40,73} = 0,61 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení na kombinaci stříhu a vytažení:

$$\left(\frac{F_{t,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 = 0,61^2 + 0,78^2 = 0,98 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

8.4.1 Přípoj krokví ve vrcholu



Obr. 53: Přípoj krokví ve vrcholu

Posouzení svorníků:

Rozteče:

Rovnoběžně s vlákny:

$$70 \text{ mm} > a_1 = (4 + |\cos \alpha|) \cdot d = 48 \text{ mm}$$

Kolmo na vlákna

$$60 \text{ mm} > a_1 = 4 \cdot d = 48 \text{ mm}$$

Zatížený konec:

$$170 \text{ mm} > a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm}) = 84 \text{ mm}$$

Zatížený okraj:

$$60 \text{ mm} > a_{4,t} = \max(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d = 36 \text{ mm}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 380 = 27,42 \text{ Mpa}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 12^{2,6} = 76,75 \cdot 10^3 \text{ N.mm}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left(\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\} = 11,56 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 11,56}{1,25} = 6,47 \text{ kN}$$

$$n_{ef} = \min \left(n; n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \right) = 3,48$$

$$F_{Rd} = F_{v,Rd} \cdot n \cdot s = 6,47 \cdot 2 \cdot 2 = 25,89 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{1811}{25,89} = 0,70 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení krokve:

Tlak kolmo k vláknům:

$$A_{ef} = (b - t) \cdot l = (120 - 8) \cdot 30 = 3360 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_{Ed}}{A_{ef}} = \frac{4,58 \cdot 10^3}{3360} = 1,36 \text{ Mpa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} = \frac{1,36}{1,51} = 0,90 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení styčnickového plechu:

$$A_{net} = (h - 2 \cdot d) \cdot t = (160 - 2 \cdot 12) \cdot 8 = 1088 \text{ mm}^2$$

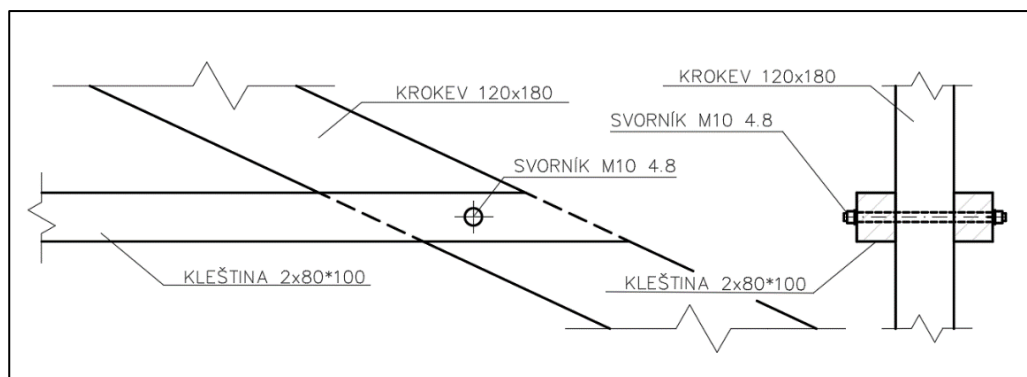
$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1088 \cdot 510 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 399,52 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{18,11}{399,52} = 0,05 < 1 \Rightarrow \textbf{VYHOVÍ}$$

8.5 Ostatní spoje

8.5.1 Přípoj kleštiny a krokve

Tento spoj je navržen konstrukčně. Je navržen dvojstřížný spoj. Použit bude svorník M10 4.8 . Spoj je znázorněn na obrázku níže (Obr.54).



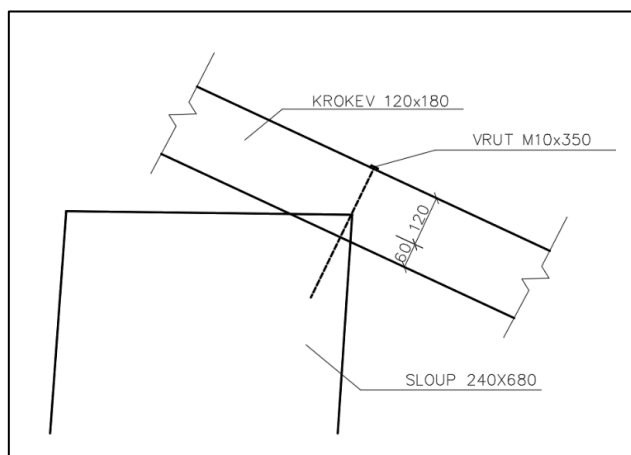
Obr. 54: Spojení krokve a kleštin

8.4.1 Přípoj schodišťového nosníku ke sloupu

Spoj je podobný spoji plošinového nosníku ke sloupu. Je proveden pomocí čelní desky. K čelní desce je schodišťový nosník přivařen. Deska je přichycena ke sloupu vruty.

8.4.2 Přípoj krokve ke sloupu

Tento spoj je navržen konstrukčně. Krokev je osedlána na sloup. Hloubka osedlání činí 60 mm (1/3 výšky krokve). Spoj je zajištěn vrutem M10 délky 350 mm. Hloubka vniku vrutu do sloupu je 230 mm. Spoj je znázorněn na obrázku níže (Obr.55).



Obr. 55: Osedlání krokve na sloup

8.4.3 Přípoj kleštin a sloupku

Vzájemný přípoj kleštin a kleštin se sloupkem je proveden pomocí spojovacích prostředků značky BOVA. Spoj sloupku s kleštinami je realizován spojovacím úhelníkem BV/Ú 05-01 tloušťky 2 mm. Jako spojovací materiál slouží kroužkové (konvexní) hřebíky průměru 4 mm. Spoj kleštiny s kleštinou je proveden třmenem BV/T – 60 11-23 šířky 60 mm a tloušťkou 2 mm. Jako spojovací materiál slouží kroužkové (konvexní) hřebíky průměru 4 mm nebo vruty, svorníky a matice průměru 10 mm. Spoje jsou znázorněny na obrázku níže (Obr. 56).



Obr. 56: Propojení kleštin a sloupku, Zdroj [14]

9 Závěr

Cílem bakalářské práce byl návrh rozhledny na bázi dřeva s přihlédnutím k architektonickým, dispozičním a statickým požadavkům. V úvodu se práce zabývala historickým vývojem a rozdělením rozhleden podle materiálu. Poté byla navržena řešerše tří variant rozhleden, z nichž jedna byla vybrána. Vybraná varianta byla architektonicky umístěna a dispozičně vyřešena. Byly popsány její konstrukční prvky. Bylo vypočítáno stálé a proměnné zatížení, které na rozhlednu působí. Dále byly posouzeny hlavní nosné prvky konstrukce, navrženy a posouzeny hlavní spoje nosných prvků. K těmto úkonům byla přiložena výkresová dokumentace, která zahrnuje půdorysy, pohled, řez a detaily spojů. Podle dosažených výsledků lze stanovit, že konstrukce rozhledny vyhovuje na mezní stavy únosnosti a meznímu stavu použitelnosti.

Přínosem zpracování tématu této bakalářské práce je pro autora prohloubení znalostí o zatížení stavebních konstrukcí, výpočtu zatížení od větru a navrhování dřevěných a ocelových prvků, zejména pak jejich spojů. Autor získal větší sebejistotu v modelování prostorových konstrukcí a numericky nelineárních modelů v programu Scia Engineer. Dále byly rozšířeny znalosti 3D modelování v programu ArchiCAD a následných vizualizačních úpravách.

10 Seznam použitých pramenů

10.4 Literatura

[1] NOUZA, Jan. *Rozhledny Čech, Moravy a Slezska*. Liberec: Nakladatelství 555, 1999. ISBN 80-902590-4-9.

[2] NOUZA, Jan. *Rozhledny na prahu 21. století*. Liberec: Nakladatelství 555, 2003. ISBN 80-86424-19-7.

[3] BLAß, Hans Joachim. *Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí: obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Přeložil Bohumil KOŽELOUH. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008. ISBN 978-80-87093-73-3.

[4] *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, STEP 1: navrhování a konstrukční materiály*. Přeložil Bohumil KOŽELOUH. Zlín: KODR, 1998. ISBN 80-238-2620-4

[5] LOKAJ, Antonín. *Dřevostavby a dřevěné konstrukce*. I. a II. díl. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-732-1.

10.5 Internetové zdroje

[6] *Rozhledny a další vyhlídkové objekty v České republice* [online] Pavel Gejdoš, APTIS MEDIA [cit. 10.1.2018]. Dostupné z <http://rozhledny.wz.cz>

[7] *Rozhledny, aktuální stav rozhleden v ČR, turistické informace* [online] © Petr Kohl, 2006-2018 [cit. 10.1.2018]. Dostupné z <http://rozhledny.kohl.cz>

[8] *Rozhledny v ČR* [online] © Rozhlednovým rájem, 1999-2011 [cit. 11.1.2018]. Dostupné z <http://www.rozhlednovymrajem.cz>

[9] *České rozhledny* [online] © Martin Chroust, 2001-2012 [cit. 13.1.2018]. Dostupné z <http://www.rozhledny.yc.cz>

[10] *Rozhledny ČR* [online] ziky@email.cz, 2018 [cit. 13.1.2018] Dostupné z <http://rozhledny.webzdarma.cz>

[11] *Mapa zatížení sněhem na zemi* [online] Dostupné z: <http://www.snehovamapa.cz/>

[12] *Mapy větrových oblastí*. [online] Dostupné z: <http://www.sticka.cz/mapy/>

[13] *Upevňovací technika pro stavební průmysl* [online] © HALFEN s r.o. [cit. 8.3.2018] Dostupné z www.halfen.com/cz/

[14] *Výrobce kování BOVA* [online] © BOVA spol. s r.o. [cit. 15.4.2018] Dostupné z <http://bova-nail.cz/>

[15] *Výrobce zdvihací, lanové a bezpečnostní techniky CarlStahl* [online] © Carl Stahl & spol, s r.o. [cit. 28.3.2018] Dostupné z <http://www.carlstahl.cz>

10.6 Normy

[16] ČSN EN 1990 „Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí“

[17] ČSN EN 1991-1-1 „Eurokód: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb“

[18] ČSN EN 1991-1-3 „Eurokód: Zatížení konstrukcí – část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem“

[19] ČSN EN 1991-1-4 „Eurokód: Zatížení konstrukcí – část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem“

[20] ČSN EN 1993-1-1 „Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby“

[21] ČSN EN 1993-1-8 „Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-8: Navrhování styčníků“

[22] ČSN EN 1995-1-1 „Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla – společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby“

11 Seznam obrázků a tabulek

10.1 Seznam obrázků

Obr. 1: Minaret (vlevo), Krásný dvůr (uprostřed), Cibulka (vpravo), [8]	14
Obr. 2: Klet' (vlevo) Hamelika (uprostřed), Zlatý Chlum (vpravo), [8]	15
Obr. 3: Bramberk (vl.), Frýdlantská výš. (uprostřed), Tanečnice (vpr.), [8]	16
Obr. 4: Dobrošov (vlevo), Pancíř (uprostřed), Prašivá (vpravo), [8]	16
Obr. 5: Bývalá Hýlačka (vlevo), nová Hýlačka (vpravo), [8]	19
Obr. 6: Petřín (vlevo), Slovanka (vpravo), [8]	20
Obr. 7: Tisovský vrch (vlevo), Královka (vpravo), [8]	20
Obr. 8: Semenec (vlevo), Kratochvílova rozhledna (vpravo), [8]	21
Obr. 9: 1. Varianta – čelní pohled (vlevo), realistický 3D pohled (vpravo)	23
Obr. 10: 2. Varianta – čelní pohled (vlevo), realistický 3D pohled (vpravo)	24
Obr. 11: 3. Varianta – čelní pohled (vlevo), realistický 3D pohled (vpravo)	25
Obr. 12: Mapa umístění rozhledny	26
Obr. 13: Umístění do krajiny	27
Obr. 14: Jihovýchodní pohled	27
Obr. 15: Severovýchodní pohled	28
Obr. 16: Severní pohled	28
Obr. 17: Umístění plošiny	29
Obr. 18: Reálné vizualizace rozhledny	30
Obr. 19: Konstrukce zastřešení	33
Obr. 20: Kotvení a řez táhla, [13]	33
Obr. 21: Sněhová mapa, [11]	40
Obr. 22: Větrná mapa, [12]	42
Obr. 23: Výškový profil terénu pro součinitel orografie	43
Obr. 24: Rozdělení rozhledny na výšková pásma	45
Obr. 25: Rozdělení střechy na oblasti	48
Obr. 26: Prutový model rozhledny ve Scia engineer	50
Obr. 27: ZS2 Stálé	52
Obr. 28: ZS3_1 plošina šach 1 a ZS3_2 plošina šach 2	52
Obr. 29: ZS3_3 plošina šach 3 a ZS3_4 plošina šach 4	53

Obr. 30: ZS3_5 plošina šach 5 a ZS3_6 plošina šach 6	53
Obr. 31: ZS4_1 schodiště šach 1 a ZS4_2 schodiště šach 2	54
Obr. 32: ZS4_3 schodiš. šach 3, ZS4_4 schodiš. šach 4, ZS4_5 schodiš. šach 5	54
Obr. 33: ZS5_1 sníh plný, ZS5_2 sníh poloviční X, ZS5_3 sníh poloviční Y	55
Obr. 34: ZS6_1 vítr X tlak a ZS6_2 vítr Y tlak	55
Obr. 35: ZS6_3 vítr X- tlak a ZS6_4 vítr Y- tlak.....	56
Obr. 36: ZS6_5 vítr X sání a ZS6_6 vítr Y sání	57
Obr. 37: ZS6_7 vítr X- sání a ZS6_8 vítr Y- sání.....	58
Obr. 38: Sloupy znázornění	61
Obr. 39: Spodní táhla – znázornění.....	64
Obr. 40: Horní táhla – znázornění.....	65
Obr. 41: Vodorovné ztužení – znázornění	65
Obr. 42: Krokve – znázornění.....	68
Obr. 43: Hl. nosník plošiny – znázornění	72
Obr. 44: Vedl. nosník plošiny – znázornění.....	75
Obr. 45: Schodišťový nosník – znázornění.....	78
Obr. 46: Schodnice – znázornění	81
Obr. 47: Kleština – znázornění	84
Obr. 48: Vodorovný posun sloupů.....	88
Obr. 49: Kotvení sloupu.....	89
Obr. 50: Přípoj sloupu ke kotvení	94
Obr. 51: Přípoj vodorovného ztužení ke sloupu	100
Obr. 52: Přípoj plošinového nosníku ke sloupu.....	102
Obr. 53: Přípoj krokví ve vrcholu	104
Obr. 54: Spojení krokve a kleštin.....	106
Obr. 55: Osedlání krokve na sloup.....	107
Obr. 56: Propojení kleštin a sloupku, Zdroj [14]	107

10.2 Seznam tabulek

Tab. 1: Výkaz materiálu.....	35
Tab. 2: Charakteristiky materiálu LLD GL24h	36
Tab. 3: Charakteristiky materiálu RD C24	37
Tab. 4: Charakteristiky materiálu ocel S235.....	38

Tab. 5: Charakteristiky materiálu ocel S355.....	38
Tab. 6: Charakteristiky materiálu ocel S460.....	38
Tab. 7: Charakteristiky materiálu ocel 8.8.....	38
Tab. 8: Charakteristiky materiálu ocel 8.8.....	39
Tab. 9: Tíha střešního pláště	40
Tab. 10: Výpočetní hodnoty pro zatížení sněhem.....	41
Tab. 11: Hodnoty zatížení větrem pro jednotlivá výšková pásma	45
Tab. 12: Hodnoty zatížení větrem pro sloup (delší strana)	46
Tab. 13: Hodnoty zatížení větrem pro sloup (kratší strana).....	47
Tab. 14: Hodnoty zatížení větrem pro ostatní prvky	47
Tab. 15: Zatížení větrem na přístřešek – tlak.....	48
Tab. 16: Zatížení větrem na přístřešek – sání	49
Tab. 17: Zatěžovací stavy	51
Tab. 18: Skupiny zatížení.....	51
Tab. 19: Klíč kombinací MSÚ	60
Tab. 20: Průřezové charakteristiky sloupu.....	61
Tab. 21: Vnitřní síly – sloup	61
Tab. 22: Průřezové charakteristiky – spodní táhla.....	64
Tab. 23: Vnitřní síly – táhlo spodní	64
Tab. 24: Průřezové charakteristiky – horní táhla	65
Tab. 25: Vnitřní síly – táhlo horní.....	65
Tab. 26: Průřezové charakteristiky – vodorovné ztužení.....	65
Tab. 27: Vnitřní síly – vodorovné ztužení	66
Tab. 28: Průřezové charakteristiky – krokev	68
Tab. 29: Vnitřní síly – krokve	69
Tab. 30: Průřezové charakteristiky - hl. nosník plošiny	72
Tab. 31: Vnitřní síly - hl. nosník plošiny	72
Tab. 32: Průřezové charakteristiky – vedl. nosník plošiny	75
Tab. 33: Vnitřní síly – vedl. nosník plošiny.....	75
Tab. 34: Průřezové charakteristiky – schodišťový nosník	78
Tab. 35: Vnitřní síly – schodišťový nosník.....	78
Tab. 36: Průřezové charakteristiky – schodnice	81
Tab. 37: Vnitřní síly – schodnice	81
Tab. 38: Průřezové charakteristiky – kleština	84

Tab. 39: Vnitřní síly – kleštiny	84
Tab. 40: Rozložení sil na jednotlivé kolíky	96
Tab. 41: Posouzení únosnosti jednotlivých kolíků	97

12 Použitý programový software

Scia Engineer	Výpočetní software pro statické výpočty (verze 17.1)
AutoCAD 2018	Grafický software pro tvorbu projektové dokumentace
ArchiCAD 19	Grafický software pro tvorbu 3D modelu a projektové dokumentace
Lumion3D	Rendrovací vizualizační software
MS Excel 2016	Tabulkový procesor
MS Word 2016	Textový editor

13 Seznam příloh

Výkres č.1: Pohled, řez, půdorys krovu	A3
Výkres č.2: Půdorysy	A3
Výkres č.3: Detaily a půdorys kotvení	A3
Výkres č.4: Detaily	A3